



M 2017

CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE REVESTIMENTOS HIGROSCÓPICOS NA ESTABILIZAÇÃO DA HUMIDADE RELATIVA

GUIOMAR CARNEIRO MENDES PALMA DA SILVA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA CIVIL

CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE REVESTIMENTOS HIGROSCÓPICOS NA ESTABILIZAÇÃO DA HUMIDADE RELATIVA

GUIOMAR CARNEIRO MENDES PALMA DA SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

Coorientador: Doutora Cláudia Sofia Faia Miranda Ferreira

JULHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Avós

A arte da vida consiste em fazer da vida uma obra de arte

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Com o concretizar desta importante etapa da minha vida, quero expressar o meu profundo agradecimento e admiração a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que este percurso fosse possível. Deste modo:

Agradeço ao meu orientador, o Professor Vasco Freitas, pela sua orientação, disponibilidade, pelos seus conselhos, dedicação e apoio demonstrados ao longo de toda a execução desta dissertação. Pela proposta do tema e pela disponibilização da infraestrutura laboratorial necessária para a sua realização.

À minha coorientadora Doutora Cláudia Ferreira, um muito obrigada por toda a ajuda e empenhamento demonstrados no decorrer deste trabalho, desde a fase experimental. Agradeço a disponibilização do seu tempo para todo este meu trabalho.

Obrigada aos meus familiares e amigos por me apoiarem e por acreditarem, juntamente comigo, que seria possível.

RESUMO

Ao longo dos anos, o interesse pela cultura e pelo conhecimento da história de Portugal tem aumentado. Verifica-se um crescimento do número de visitantes nos museus portugueses e, em relação ao número de bens culturais expostos, são milhões os que constituem o acervo museológico.

Acredita-se que a maior parte dos museus existentes no nosso país encontram-se instalados em edifícios antigos, em que existe a falta de condições espaciais e higrotérmicas de maneira a fazer face à evolução museológica apresentada. O controlo da humidade relativa é mais importante que o controlo da temperatura, uma vez que a humidade relativa é o principal fator de degradação dos objetos museológicos. A preservação do acervo museológico, bem como do próprio edifício antigo onde se localiza o museu, é muito importante tanto pelo seu nível histórico como cultural.

Atualmente, existe uma grande preocupação com a eficiência e a sustentabilidade energética e como Portugal situa-se numa zona de clima temperado, a reabilitação dos museus, de modo a controlar as variações higrotérmicas interiores, pode ser realizada com a instalação de sistemas de controlo passivo. Estes sistemas referem-se à utilização de materiais higroscópicos de revestimento interior.

Nesta dissertação foi possível criar uma base de dados reduzida dos valores das propriedades higroscópicas e classificação relativa de materiais de revestimento interior e pinturas, de modo a quantificar o seu desempenho higroscópico. As propriedades higroscópicas consideradas são: curva higroscópica, permeabilidade ao vapor de água (materiais de revestimento), espessura da camada de ar de difusão equivalente (pinturas) e o MBV. O potencial higroscópico está associado à curva higroscópica, o potencial de difusão está relacionado com a permeabilidade ao vapor de água e a espessura da camada de ar de difusão equivalente e o valor do MBV corresponde à capacidade de armazenamento.

Esta dissertação tem como principal objetivo a caracterização experimental da influência de revestimentos higroscópicos na estabilização da humidade relativa. Como o próprio nome indica, é uma dissertação elaborada em ambiente laboratorial, onde se utilizou uma infraestrutura de ensaio presente no Laboratório de Física das Construções da FEUP. Foram adotadas duas configurações de ensaio: a configuração I e a configuração II, onde se avaliaram dois revestimentos higroscópicos no interior de uma câmara de fluxos, um modelo à escala reduzida: PFMLM e PFMCB, de modo a perceber a sua influência na estabilização da humidade relativa. A configuração I corresponde, apenas, à análise do material PFMCB no interior da câmara de fluxos. Na configuração II foram avaliados os materiais PFMLM e PFMCB em conjunto, ocupando o dobro da área ocupada na configuração I. Para ambas as configurações foram analisados dois ciclos: o ciclo de inverno (7 dias) e o ciclo de verão (8 dias).

Por fim, procedeu-se à classificação do clima interior das duas configurações, de acordo com as metodologias da ASHRAE e da norma europeia EN15757.

PALAVRAS-CHAVE: museus, humidade relativa, revestimentos higroscópicos, avaliação experimental, condições higrotérmicas.

ABSTRACT

Throughout the years, the interest in the culture and knowledge of the history of Portugal has increase. There has been a growth in the number of visitors in portuguese museums and, in relation to the number of cultural objects exhibited, millions constitute the museological collection.

It is believed that most of the museums in our country are located in old buildings, where there is a lack of spacial and hygrothermic conditions in order to cope with the presented museological evolution. The control of relative humidity is more important than the control of the temperature, since relative humidity is the main degradation factor of the museum objects. The preservation of the museological collection, as well as of the old building where the museum is located, is very important both for its historical and cultural level.

Currently, there is a great concern with the energetic efficiency and sustainability and as Portugal is situated in a temperated zone, the rehabilitation of museums, in order to control the interior hygrothermics variations, can be performed with the installation of passive control systems. This system refers to the use of hygroscopic materials of interior cladding.

In this dissertation it was possible to create a reduced database of hygroscopic property values and relative classification of interior cladding materials and paints, in order to quantify their hygroscopic performance. The hygroscopic properties considered are: sorption isotherm, water vapor permeability (cladding materials), thickness of the equivalent diffusion air layer (paints) and MBV. The hygroscopic potential is associated with the sorption isotherm, the diffusion potential is related to the water vapor permeability and the thickness of the equivalent diffusion air layer and the MBV value corresponds to the buffer capacity.

This dissertation has as main objective the experimental characterization of the influence of hygroscopic cladding in stabilization of relative humidity. As the name implies, it's a dissertation elaborated in a laboratory environment, where we used a test infrastructure present at the FEUP's Laboratory of Physic and Constructions. Two test configurations were adopted: the configuration I and the configuration II, where two hygroscopic claddings were evaluated in the interior of a flow chamber, a reduced-scale model: PFMLM and PFMCB, in order to understand its influence on stabilization of relative humidity. The configuration I corresponds, only, to the analysis of the PFMCB material inside the flow chamber. In the configuration II the PFMLM and PFMCB materials were evaluated together, occupying twice the area of the configuration I. For both configurations, two cycles were analyzed: the winter cycle (7 days) and the summer cycle (8 days).

Finally, the internal climate of the two configurations was classified according to the ASHRAE and the european norm EN15757 methodologies.

KEYWORDS: museums, relative humidity, hygroscopic cladding, experimental evaluation, hygrothermal conditions

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA	3
1.3. QUESTÕES FORMULADAS	4
1.4. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO	4
2. OS MUSEUS EM PORTUGAL	5
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	5
2.2. RECENSEAMENTO DOS MUSEUS - BdMUSEUS	5
2.3. IMUS – INQUÉRITO AOS MUSEUS DO INE	9
2.3.1. INTRODUÇÃO	9
2.3.2. FORMA JURÍDICA DE QUE OS MUSEUS DEPENDEM	10
2.3.3. DESPESAS DOS MUNICÍPIOS EM PATRIMÓNIO CULTURAL	10
2.3.4. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS MUSEUS NO TERRITÓRIO NACIONAL	10
2.3.5. BENS CULTURAIS	11
2.3.6. VISITANTES E PESSOAL AFETO AO SERVIÇO	12
2.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO 2	13
3. CLIMAS EXTERIOR E INTERIOR DOS MUSEUS PORTUGUESES	15
3.1. IMPORTÂNCIA DOS CLIMAS EXTERIOR E INTERIOR EM MUSEUS	15
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR	16
3.2.1. BRAGA	16
3.2.2. PORTO	17
3.2.3. LISBOA	18
3.3. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA INTERIOR	19
3.3.1. MPORTO	19

3.3.2. MLISBOA.....	21
3.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO 3.....	24

4. PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS DE MATERIAIS DE REVESTIMENTO E PINTURAS 27

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	27
4.2. CURVA HIGROSCÓPICA	28
4.3. PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA	30
4.4. ESPESSURA DA CAMADA DE AR DE DIFUSÃO EQUIVALENTE	31
4.5. MOISTURE BUFFER VALUE – MBV (MÉTODO NORDTEST)	31
4.6. VALORES DAS PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS DE MATERIAIS DE REVESTIMENTO INTERIOR E PINTURAS	32
4.7. SÍNTESE DO CAPÍTULO 4.....	37

5. MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EM FUNÇÃO DE MATERIAIS DE REVESTIMENTO 39

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	39
5.2. INFRAESTRUTURA DE ENSAIO UTILIZADA	39
5.2.1. CÂMARA CLIMÁTICA	40
5.2.2. CÂMARA DE FLUXOS – MODELO REDUZIDO	41
5.3. MATERIAIS ENSAIADOS	43
5.4. PROCEDIMENTO DE ENSAIO.....	47
5.4.1. CONDIÇÕES DE ENSAIO.....	47
5.4.2. CONFIGURAÇÃO I.....	47
5.4.3. CONFIGURAÇÃO II.....	52
5.5. CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA INTERIOR.....	56
5.5.1. METODOLOGIA ASHRAE	56
5.5.1.1. Descrição da Metodologia	57
5.5.1.2. Aplicação da Metodologia à Configuração I.....	64
5.5.2. METODOLOGIA EN15757.....	66
5.5.2.1. Descrição da Metodologia	66
5.5.2.2. Aplicação da Metodologia à Configuração I.....	68

5.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO 5	69
---	----

6. CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
--	----

6.2. SÍNTESE DAS CONCLUSÕES OBTIDAS	73
--	----

6.3. RESPOSTA ÀS QUESTÕES FORMULADAS	75
---	----

6.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	78
--	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
---	----

ANEXOS

A1. CONFIGURAÇÃO I – CICLO DE INVERNO

A2. CONFIGURAÇÃO I – CICLO DE VERÃO

A3. CONFIGURAÇÃO II – CICLO DE INVERNO

A4. CONFIGURAÇÃO II – CICLO DE VERÃO

A5. APLICAÇÃO METODOLOGIA ASHRAE – CONFIGURAÇÃO I

A6. APLICAÇÃO METODOLOGIA ASHRAE – CONFIGURAÇÃO II

A7. APLICAÇÃO METODOLOGIA EN15757 – CONFIGURAÇÃO I E CONFIGURAÇÃO II

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 - Recenseamento dos museus por situação e por ano (2000-2010) (Neves, Santos e Lima 2013)	6
Fig. 2 - Distribuição dos museus a funcionar e projetos/intenções de criação de museus, por concelhos, em Portugal, no ano de 2010 (Neves, Santos e Lima 2013)	7
Fig. 3 - Evolução dos museus polinucleados e dos núcleos, entre 2000-2010 (Neves, Santos e Lima 2013)	8
Fig. 4 - Número de museus a funcionar (BdMuseus) vs. Universo de museus a inquirir pelo INE, entre 2000-2010 (Neves, Santos e Lima 2013)	8
Fig. 5 - Evolução do número de museus inquiridos pelo INE, por situação, entre 2011-2015 (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2012, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2013, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2014, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2015, Instituto Nacional de Estatística, I.P. 2016)	9
Fig. 6 - Distribuição dos museus em Portugal em 2015 (Instituto Nacional de Estatística s.d.)	11
Fig. 7 – Evolução do número de bens nos museus portugueses inquiridos pelo INE, entre 2011-2015 (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2012, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2013, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2014, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2015, Instituto Nacional de Estatística, I.P. 2016)	12
Fig. 8 - Evolução do número de visitantes dos museus em Portugal (em milhões) (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2012, Instituto Nacional de Estatística s.d.)	13
Fig. 9 - Variação horária da T e HR para a cidade de Braga.....	16
Fig. 10 - Variação horária da T e HR para a cidade do Porto.....	17
Fig. 11 - Variação horária da T e HR para a cidade de Lisboa.....	18
Fig. 12 - TRY da cidade do Porto e variação de T e HR da galeria de exposições do MPorto, no ano 2012.....	20
Fig. 13 – TRY da cidade de Lisboa e a variação de T e HR da sala X.....	22
Fig. 14 – Variação de T e HR da vitrina da sala X e da sala X.....	23
Fig. 15 – As cinco formas de curvas higroscópicas de acordo com Brunauer, Emmet e Teller (researchgate.net 2008-2017).....	28
Fig. 16 – Curva higroscópica do tipo 2 (Adaptado de: Freitas 1992).....	29
Fig. 17 – Curvas de adsorção e desadsorção (Adaptado de: Freitas 1992)	30
Fig. 18 – Classificação da capacidade de armazenamento de humidade de materiais de revestimento, segundo o MBV (C. S. Ferreira 2015).....	32
Fig. 19 – Esquema do equipamento utilizado (Adaptado de: Ramos 2007)	40
Fig. 20 – Painel de controlo programável	41
Fig. 21 – Pormenor da câmara de fluxos	42

Fig. 22 – Variação da temperatura registada das várias sondas, em oito dias de um ciclo de verão...	42
Fig. 23 – Variação da humidade relativa registada das várias sondas, em oito dias de um ciclo de verão	43
Fig. 24 – Aspeto de um PFMLM (Lusomatec s.d.).....	44
Fig. 25 – Aplicações dos revestimentos PFMLM (Lusomatec s.d.)	44
Fig. 26 – Aspeto de um PFMCB (Heraklith 2013).....	45
Fig. 27 – Aplicações dos revestimentos PFMCB (Heraklith 2017)	45
Fig. 28 – Potencial do revestimento PFMLM	46
Fig. 29 – Potencial do revestimento PFMCB	46
Fig. 30 – Variação da T do ciclo de inverno da configuração I	48
Fig. 31 – Variação da HR do ciclo de inverno da configuração I	48
Fig. 32 – Variação da T do ciclo de verão da configuração I	49
Fig. 33 – Variação da HR do ciclo de verão da configuração I	50
Fig. 34 – Variação da T média horária, num ano – Configuração I	51
Fig. 35 – Variação da HR média horária, num ano – Configuração I	51
Fig. 36 – Variação da T do ciclo de inverno da configuração II	52
Fig. 37 – Variação da HR do ciclo de inverno da configuração II	53
Fig. 38 – Variação da T do ciclo de verão da configuração II	54
Fig. 39 – Variação da HR do ciclo de verão da configuração II	54
Fig. 40 – Valores horários da temperatura interior do compartimento de estudo.....	60
Fig. 41 – Valores horários da humidade relativa interior do compartimento em estudo.....	61
Fig. 42 – Valores horários, média anual e curva da média dinâmica sazonal a 90 dias da temperatura interior do compartimento em estudo.....	62
Fig. 43 – Valores horários, média anual e curva da média dinâmica sazonal a 90 dias da humidade relativa interior do compartimento em estudo	62
Fig. 44 – Valores horários e curva da média dinâmica sazonal ajustada da temperatura interior do compartimento em estudo	63
Fig. 45 – Valores horários e curva da média dinâmica sazonal ajustada da humidade relativa interior do compartimento em estudo.....	63
Fig. 46 – Valores horários e pequenas flutuações permitidas para a temperatura interior do compartimento em estudo	64
Fig. 47 – Valores horários e pequenas flutuações permitidas para a humidade relativa interior do compartimento em estudo	64
Fig. 48 – Classificações do interior da configuração I de acordo com as classes ASHRAE para os dados obtidos durante um ano.....	65
Fig. 49 – Valores horários e média anual da humidade relativa interior do compartimento em estudo	

.....	67
Fig. 50 – Valores horários e curva da média dinâmica sazonal da humidade relativa interior do compartimento em estudo	67
Fig. 51 – Percentis 7º e 93º	68
Fig. 52 – Valores horários e banda de valores permitida para a humidade relativa interior do compartimento em estudo	68
Fig. 53 – Aplicação da norma EN15757 ao clima interior registado na configuração I	69
Fig. 54 – Variação de HR do ciclo de verão da configuração II	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de Museus (Instituto Nacional de Estatística 2009, Neves, Santos e Lima 2013)	2
Tabela 2 - Evolução do número de Museus no território nacional, por regiões (2011-2015) (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2012, Instituto Nacional de Estatística s.d.)	10
Tabela 3 - Parâmetros estatísticos para a cidade de Braga	17
Tabela 4 - Parâmetros estatísticos para a cidade do Porto	17
Tabela 5 - Parâmetros estatísticos para a cidade de Lisboa	18
Tabela 6 - Parâmetros estatísticos da cidade do Porto e das condições higrotérmicas interiores da galeria de exposições.....	20
Tabela 7 - Parâmetros estatísticos da cidade de Lisboa e das condições higrotérmicas interiores da sala X.....	22
Tabela 8 - Parâmetros estatísticos das condições higrotérmicas interiores da sala X e da vitrina da sala X	23
Tabela 9 - Valores das propriedades higroscópicas de materiais de revestimento e respetivas classificações	33, 34
Tabela 10 – Valores das propriedades higroscópicas de pinturas e respetivas classificações	35, 36
Tabela 11 - Parâmetros estatísticos calculados da CC e da CF do ciclo de inverno da configuração I	49
Tabela 12 - Parâmetros estatísticos da CC e da CF do ciclo de verão da configuração I	50
Tabela 13 - Parâmetros estatísticos da variação de T e HR da CC e da CF do ciclo de inverno da configuração II	53
Tabela 14 – Parâmetros estatísticos da CC e da CF do ciclo de verão da configuração II	55
Tabela 15 - Parâmetros estatísticos das condições higrotérmicas da CF das configurações I e II - ciclo de inverno.....	55
Tabela 16 - Parâmetros estatísticos das condições higrotérmicas da CF das configurações I e II - ciclo de verão.....	56
Tabela 17 - Especificações da ASHRAE de temperatura e humidade relativa para coleções em museus, galerias, arquivos e bibliotecas (Adaptado de: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011)	58, 59
Tabela 18 - Síntese da classificação do clima interior da configuração I, de acordo com a especificação ASHRAE	65
Tabela 19 - Valores das propriedades higroscópicas dos materiais de revestimento PFMLM e PFMCB e respetivas classificações	77

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

HR – Humidade relativa [%]

MBV – Moisture Buffer Value [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$]

s_d – Espessura da camada de ar de difusão equivalente [m]

T – Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]

u – Teor de humidade em massa por massa [$(\text{Kg}/\text{Kg}) \cdot 100$]

ΔT – Gradiente de temperatura [$^{\circ}\text{C}$]

ΔHR – Gradiente de humidade relativa [%]

δ_p – Permeabilidade ao vapor de água [$\text{Kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

CC – Câmara climática

CF – Câmara de fluxos

CO_2 – Dióxido de carbono

DGPC – Direção-Geral do Património Cultural

DTU – Universidade Técnica da Dinamarca

EN – European Standard

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

IMUS – Inquérito aos Museus

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPM – Instituto Português de Museus

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

ISO - International Organization for Standardization

LFC – Laboratório de Física das Construções

LTH – Universidade de Lund

NBI – Byggforsk da Noruega

OAC – Observatório das Atividades Culturais

PFMCB – Painéis à base de fibras de madeira aglomeradas com cimento branco

PFMLM – Painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidas por ligantes minerais

PVC – Policloreto de vinilo

S – Sonda

TRY – Test Reference Year

VTT – Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus

Fig. – Figura

Hig - Higroscópico

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Muitos museus encontram-se instalados em edifícios históricos, o que aumenta o valor patrimonial e o interesse da relação edifício – coleção (Schellen e Martens 2008, Silva e Henriques 2016, Silva e Henriques 2015).

Nos dias de hoje, a conservação dos objetos museológicos, o conforto humano e a eficiência energética são aspetos muito importantes na conceção e projeto de museus instalados em edifícios históricos, que muitas vezes não são tidos em conta (Silva e Henriques 2016). É indispensável, nestes edifícios, tentar alcançar um equilíbrio favorável entre a conservação e as medidas para melhorar a eficiência energética, de modo a evitar danos tanto ao caráter e à importância do edifício como às suas coleções (Yasa, Fidan e Tosun 2014). A perda de qualquer um dos artefactos do acervo museológico é uma perda para toda a comunidade (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011).

A preservação dos edifícios antigos e do seu conteúdo requer o conhecimento dos processos de deterioração e danos (biológicos, mecânicos e químicos) para, posteriormente, desenvolver estratégias de forma a reduzi-los ou preveni-los (Pretelli, et al. 2013). A degradação biológica está, a maior parte das vezes, ligada ao crescimento de fungos motivado por humidade relativa elevada (Martens 2012, Silva e Henriques 2015). Os danos mecânicos estão relacionados com as flutuações de humidade relativa e de temperatura (em menor grau) que originam a retração e a expansão dos materiais, isto é, provocam mudanças dimensionais (H. E. Silva, F. M. Henriques e T. A. Henriques, et al. 2016, Martens 2012). A degradação química é influenciada pela temperatura e humidade relativa que provocam a velocidade de reação dos processos químicos (Martens 2012). Este tipo de degradação é, em muitos casos, negligenciado, pois os níveis de temperatura e de humidade relativa adequados para a sua redução são difíceis de obter e poderão contrariar os níveis permitidos para limitar a degradação mecânica (Silva e Henriques 2015).

Os museus são espaços inigualáveis que, pela sua beleza, enquadramento e acervo disponível, são capazes de despertar memórias e transmitir conhecimentos que são muito importantes para a formação da identidade (Direção-Geral do Património Cultural s.d.). Estes espaços culturais são dedicados a proteger o acervo museológico e a colocar as coleções com a segurança exigida (Kramer, Schellen e Schijndel 2015, Technische Universiteit Eindhoven 2012-2016).

Atualmente, um dos maiores desafios dos museus é a sustentabilidade, sendo a redução dos custos de exploração e a eficiência energética vetores fundamentais, nunca influenciando a conservação do acervo museológico e o conforto térmico (H. E. Silva, F. M. Henriques e T. A. Henriques, et al. 2016, Nicholas, Jones e Group 2008).

A preservação das coleções depende do modo como os materiais e objetos da coleção se comportam e como as flutuações ambientais, que atuam sobre eles, podem ser controladas de modo a maximizar o tempo de vida útil (Erhardt, Tumosa e Mecklenburg 2007). As coleções são vulneráveis a muitas ameaças. As soluções de construção passiva, os designados sistemas passivos, podem fornecer com êxito o controlo ambiental apropriado, se aplicado corretamente (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011).

A gestão do património cultural em Portugal Continental é da responsabilidade da Direção-Geral do Património Cultural (DGPC). A missão da Direção-Geral do Património Cultural é cuidar dos bens que fazem parte do património cultural imóvel, móvel e imaterial de Portugal Continental, preocupando-se com a sua gestão, salvaguarda, valorização, conservação e restauro e, também, o desenvolvimento e execução da política museológica do país. Da lista de museus e monumentos da DGPC, 15 são museus nacionais. Com o apoio e a coordenação da DGPC, existe a Rede Portuguesa de Museus que integra 146 museus, de base voluntária, que é um sistema organizado que visa a descentralização, mediação, qualificação e cooperação entre museus (Direção-Geral do Património Cultural s.d.).

De acordo com o documento do INE – Instituto Nacional de Estatística, “Inquérito aos Museus – Documento Metodológico Versão 3.1” de Outubro de 2009, existem nove tipos de museus (Tabela 1) com conteúdos e definição distintos. Destes fazem parte: Museu de Arqueologia, Museu de Arte, Museu de Ciência e de Técnica, Museu de Ciências Naturais e de História Natural, Museu de Etnografia e de Antropologia, Museu de História, Museus de Território, Museu Especializado Museu Misto ou Pluridisciplinar (Instituto Nacional de Estatística 2009).

Tabela 1 - Tipos de Museus (Instituto Nacional de Estatística 2009, Neves, Santos e Lima 2013)

Tipo de Museu	Designação
Museu de Arqueologia	Museu que se distingue pelo facto de as suas coleções terem origem, em grande parte ou na totalidade, em escavações.
Museu de Arte	Museu consagrado às belas-artes, às artes aplicadas e às artes performativas. Notas: neste grupo estão incluídos os museus da escultura, pinacotecas, os museus de fotografia, de cinema, de teatro, de arquitetura e as galerias de exposição dependentes de bibliotecas e de arquivos.
Museu de Ciência e Técnica	Museu consagrado a uma ou mais ciências exatas ou técnicas tais como a astronomia, a física, a química, a construção, as indústrias de construção, os artigos manufaturados, as matemáticas, as ciências médicas, etc. Notas: excluem-se os planetários.
Museu de Ciências Naturais e de História Natural	Museu consagrado às temáticas relacionadas com uma ou mais disciplinas tais como a biologia, a geologia, a botânica, a zoologia, a paleontologia e a ecologia.
Museu de Etnografia e de Antropologia	Museu que expõe materiais que se relacionam com a cultura, com as estruturas sociais, com as crenças, com os costumes e com as artes tradicionais, entre outras.
Museu de História	Museu que ilustra um determinado tema, personalidade, ou momento histórico e nos quais as coleções refletem predominantemente essa leitura. Notas: neste grupo estão incluídos os museus comemorativos, militares, escolares, dedicados a personalidades históricas.
Museu de Território	Museu cujas coleções são representativas de um território específico, mais ou menos vasto e cuja ligação a esse mesmo território se concretiza

	através de um conjunto de ações em articulação com a comunidade e outras instituições locais.
Museu Especializado	Museu consagrado à investigação e exposição de todos os aspetos relativos a um tema ou assunto em particular.
Museu Misto ou Pluridisciplinar	Museu com coleções heterogéneas que não apresenta uma predominância inequívoca de uma determinada coleção sobre outra, ou seja, onde duas ou mais coleções têm relevância e representatividade próximas, não podendo ser identificados por um tema particular.
Outros	Museus que não são abrangidos por nenhum dos tipos anteriores.

Dado a importância dos museus justifica-se fazer uma reflexão sobre as suas condições higrotérmicas que condicionam a preservação das coleções.

1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA

A humidade é um problema que continua a provocar muitos danos nos materiais expostos em museus, sendo prejudicial para as coleções, como também para a saúde dos ocupantes. Tratando-se de museus instalados em edifícios antigos, este problema ganha maior importância, pois a conservação e um ambiente interior de qualidade, fatores essenciais para os objetos museológicos, podem ser condicionados pelo comportamento passivo da envolvente. Portugal tem um clima temperado pelo que, a implementação de sistemas passivos com a utilização de revestimentos higroscópicos na reabilitação dos museus contribui positivamente para o controlo da humidade relativa interior, desde que conjugado com uma ventilação adequada. Este princípio é eficaz, como se pretende evidenciar com esta dissertação.

O objetivo principal desta dissertação é a caracterização experimental da influência de revestimentos higroscópicos na estabilização da humidade relativa, de modo a avaliar quais as consequências de vários tipos de revestimentos nas variações climáticas interiores de um museu. Para além deste objetivo principal foram definidos, no decorrer desta dissertação, outros objetivos complementares, nomeadamente:

- Caracterização do clima exterior de algumas cidades portuguesas;
- Análise do clima interior de alguns museus portugueses;
- Elaboração de duas tabelas com valores de propriedades higroscópicas de materiais de revestimento interior e pinturas e respetiva classificação do seu desempenho higroscópico;
- Medição e caracterização experimental da variação das condições higrotérmicas, em modelo reduzido, de dois tipos de materiais;
- Classificação do clima interior das duas configurações ensaiadas segundo as metodologias da ASHRAE e da norma EN15757.

1.3. QUESTÕES FORMULADAS

Irão ser apresentadas de seguida, várias questões que esta dissertação pretende responder:

- i. Há influência dos materiais higroscópicos de revestimento interior na estabilização da humidade relativa?
- ii. É possível medir a influência de revestimentos interiores e pinturas, com diferentes propriedades higroscópicas na estabilização da humidade relativa?
- iii. É possível criar uma base de dados de materiais de revestimento interior e pinturas com a quantificação e classificação para cada propriedade higroscópica?
- iv. É possível classificar os climas interiores de espaços museológicos?

1.4. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos. Cada capítulo aborda um assunto que termina com uma breve síntese.

No Capítulo 1 faz-se uma introdução ao tema. Nele é apresentada a importância e o interesse na realização deste trabalho, bem como os objetivos e o modo como são estruturados os conteúdos.

No Capítulo 2 são caracterizados os museus de Portugal, de acordo com os dados estatísticos disponíveis desde 2000 até 2015, que incluem a evolução do número de museus, a distribuição destes no território nacional e o número de visitantes e funcionários. Vários dados estatísticos são apresentados neste capítulo.

Depois de se conhecer a distribuição espacial dos museus no país é necessário compreender quais os climas exteriores e interiores presentes nos nossos museus. O Capítulo 3 aborda este assunto caracterizando o clima exterior das cidades de Braga, Porto e Lisboa, com base em dados climáticos de referência disponibilizados. Neste capítulo também são apresentados os climas interiores de dois museus de Portugal: um Museu da cidade do Porto (MPorto) e um Museu situado em Lisboa (MLisboa).

No Capítulo 4 são definidas as propriedades higroscópicas de materiais de revestimento interior e pinturas. Neste capítulo são elaboradas duas tabelas de classificação de desempenho de cada material de revestimento e pinturas para cada propriedade higroscópica.

O Capítulo 5 diz respeito à avaliação experimental da variação das condições higrotérmicas, em modelo reduzido, de dois materiais de revestimento. Com base nas duas configurações ensaiadas, classifica-se o clima interior medido, de acordo com a metodologia das classes ASHRAE e a norma europeia EN15757.

No Capítulo 6 são descritas as conclusões desta dissertação e é apresentada uma reflexão sobre desenvolvimentos futuros.

2

OS MUSEUS EM PORTUGAL

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O conhecimento do panorama museológico do nosso país constitui um passo importante no trabalho a desenvolver no âmbito desta dissertação. Assim sendo, este capítulo tem como objetivo recolher e sintetizar a informação estatística disponível de forma a caracterizar a evolução dos museus em Portugal e de outros fatores a eles associados como por exemplo: o número de bens culturais, o número de visitantes e a quantidade de pessoal afeto ao serviço nos museus.

No ano de 2000, data do lançamento público dos resultados do primeiro “Inquérito aos Museus”, foi assinado um protocolo pelos dirigentes do Instituto Português de Museus (IPM), do Observatório das Atividades Culturais (OAC) e do Instituto Nacional de Estatística (INE). Este protocolo abrangia diversos vetores como a investigação, estatísticas oficiais e políticas públicas. A produção de informação estatística sobre os museus, de acordo com o protocolo, era obtida, inicialmente, através do recenseamento efetuado pelo OAC, cujo nome era BdMuseus, surgindo depois, os dados do inquérito anual do INE. Em Portugal, ao contrário do que se passa em alguns países, existia um recenseamento permanente dos museus. Com base nesse recenseamento era atualizada, anualmente, a base de dados que constituiu o universo do INE (Neves, Santos e Lima 2013).

Em 2013, deu-se a extinção do Observatório das Atividades Culturais, tendo a base de dados BdMuseus deixado de ser atualizada. Atualmente a única forma de se obter informação estatística sobre museus em Portugal é através do IMUS – “Inquérito aos Museus” realizado pelo INE todos os anos.

2.2. RECENSEAMENTO DOS MUSEUS - BdMUSEUS

O recenseamento dos Museus que deu origem à BdMuseus permitiu, ao longo de vários anos o acompanhamento e a monitorização da realidade museológica portuguesa. Na Fig. 1 apresenta-se a evolução do número de museus por situação e por ano em Portugal.

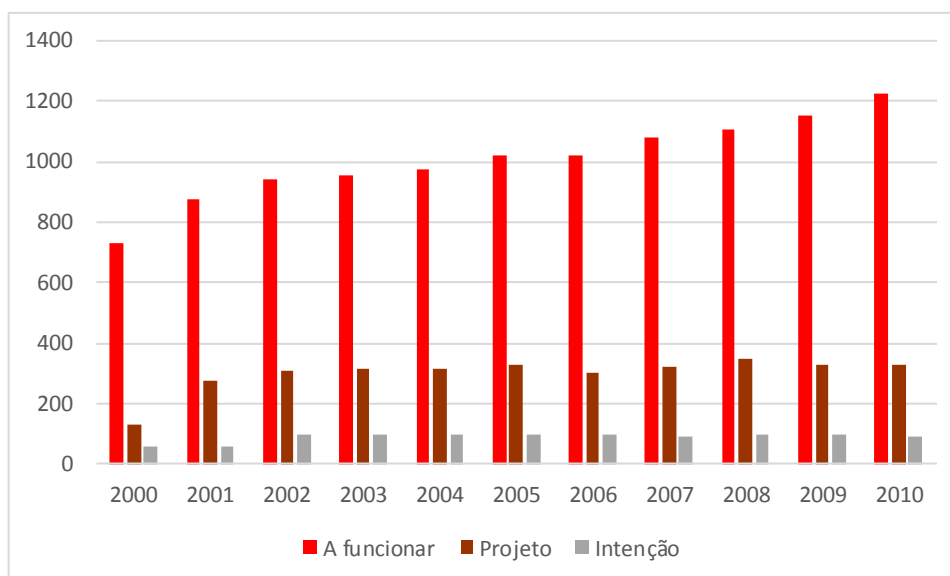


Fig. 1 - Recenseamento dos museus por situação e por ano (2000-2010) (Neves, Santos e Lima 2013)

Analisando a figura anterior pode-se afirmar que no intervalo de dez anos, o número de museus a funcionar aumentou para cerca do dobro, com 728 museus em 2000 e 1223 museus em 2010. O número de projetos e intenções também apresentam um crescimento ao longo deste período, o que perspetiva um aumento de museus em Portugal nos anos seguintes.

De forma a se avaliar essa perspetiva de aumento de museus em Portugal nos anos seguintes apresenta-se na Fig. 2 a distribuição, por concelhos, dos museus a funcionar e dos projetos/intenções de criação de museus em Portugal, no ano de 2010.

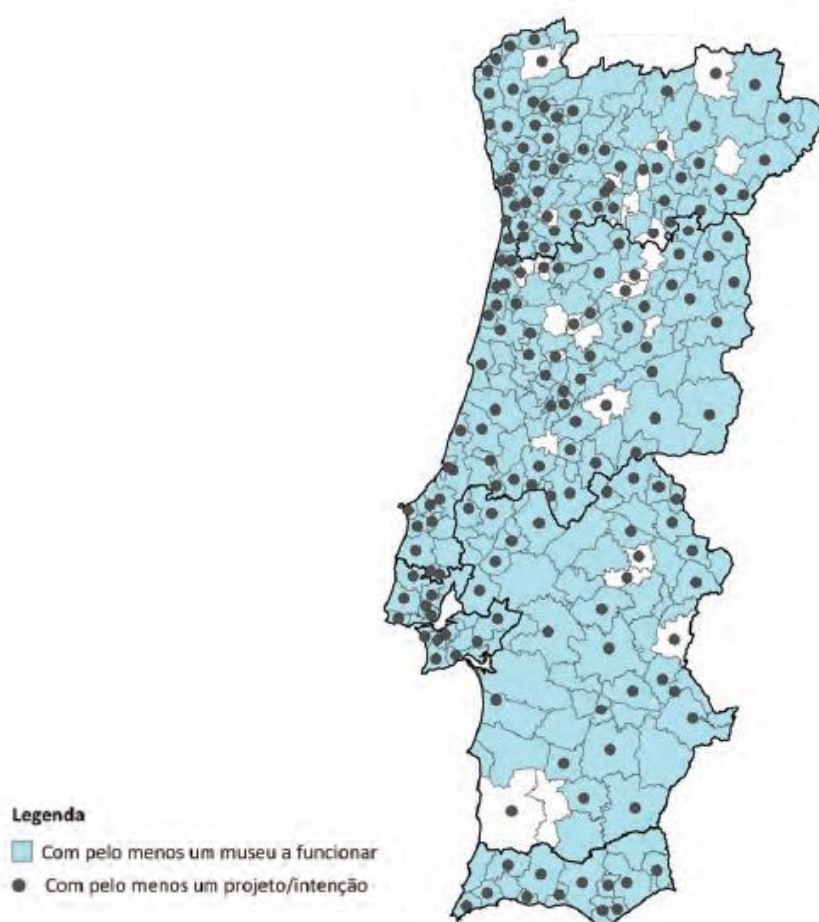


Fig. 2 - Distribuição dos museus a funcionar e projetos/intenções de criação de museus, por concelhos, em Portugal, no ano de 2010 (Neves, Santos e Lima 2013)

A análise efetuada à Fig. 2 confirma que em 2010 existia a possibilidade de serem implantados novos museus em 189 concelhos de Portugal, que a maior parte destes novos museus se localizariam nas regiões Norte e Centro e que o Alentejo era a região com menos projetos/intenções. Também é possível notar que ainda existiam concelhos sem museus a funcionar, mas que grande parte deles passaria a ter pelo menos um, uma vez que existia pelo menos um projeto ou intenção nesses concelhos. Isto acontecia em alguns concelhos das regiões Norte, Centro e Alentejo.

Na gestão dos museus existem duas opções que são dependentes de uma mesma tutela: estrutura polinucleada e estrutura em rede. Na estrutura polinucleada está inserida o núcleo-sede e um ou mais núcleos e na estrutura em rede estão inseridos dois ou mais museus autónomos entre si. A cada estrutura polinucleada corresponde uma unidade e na estrutura em rede cada museu é uma unidade (Neves, Santos e Lima 2013). A Fig. 3 representa a evolução dos museus polinucleados e dos núcleos, entre 2000-2010.

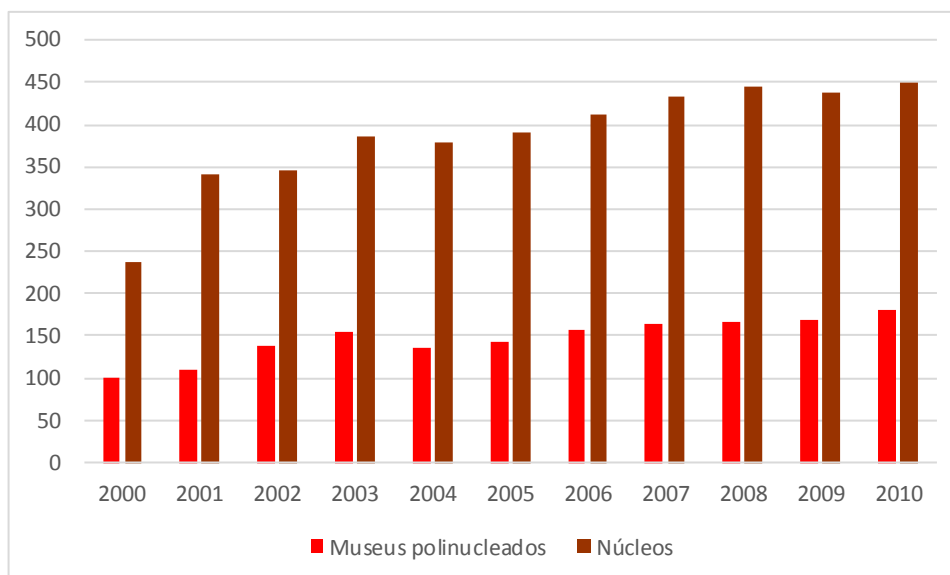


Fig. 3 - Evolução dos museus polinucleados e dos núcleos, entre 2000-2010 (Neves, Santos e Lima 2013)

Observando a Fig. 3 verifica-se que os museus polinucleados como os núcleos apresentam um aumento em número, notando um pequeno decréscimo de 2003 para 2004. Os museus polinucleados começam com 101 em 2000, registando 180 em 2010. Os núcleos apresentam um valor mais elevado em número, tendo em 2000, 238 e em 2010, 450.

Como a partir de 2011 deixou de estar disponível a informação estatística resultante do recenseamento de museus, apresenta-se na Fig. 4 a diferença do número de museus entre o recenseamento efetuado pelo OAC e o universo de museus a inquirir pelo INE.

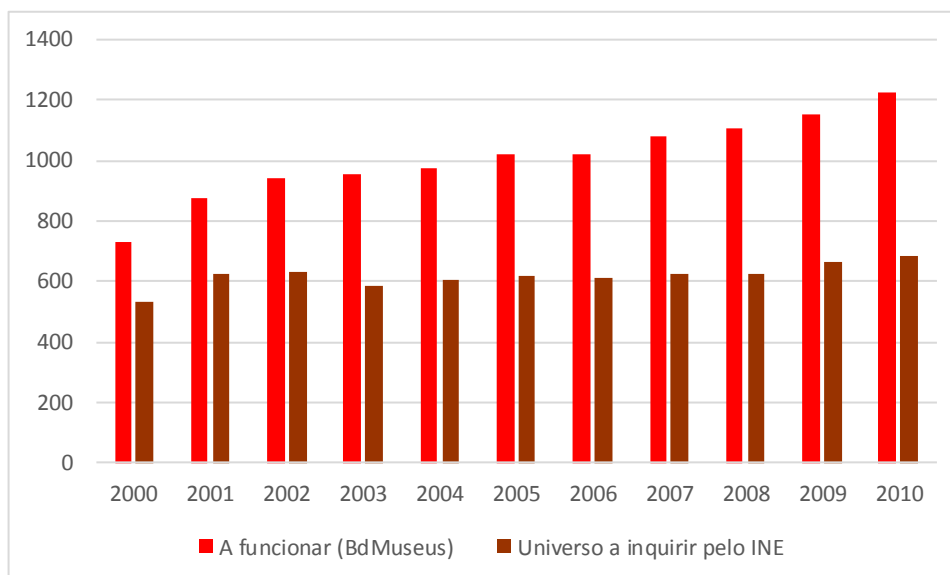


Fig. 4 – Número de museus a funcionar (BdMuseus) vs. Universo de museus a inquirir pelo INE, entre 2000-2010 (Neves, Santos e Lima 2013)

A partir desta figura constata-se que o universo a inquirir pelo INE é constituído por uma parte restrita dos museus a funcionar registados no BdMuseus. O universo de museus a inquirir pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) é composto por todas as entidades com funcionamento permanente ou sazonal, que contenha pelo menos uma sala ou espaço de exposição e que esteja presente pelo menos uma pessoa ao serviço (Neves, Santos e Lima 2013).

2.3. IMUS – INQUÉRITO AOS MUSEUS DO INE

2.3.1. INTRODUÇÃO

O Instituto Nacional de Estatística (INE) realiza, anualmente, o “IMUS - Inquérito aos Museus”, no qual, a partir do número de museus em atividade, são considerados para fins estatísticos apenas o número de museus que cumprem os seguintes cinco critérios: museus que têm pelo menos uma sala de exposição; museus que estejam abertos ao público; museus com pelo menos um conservador ou técnico superior; museus que têm orçamento e que têm inventário (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2016). Os vários dados estatísticos referentes aos museus são publicados todos os anos no documento “Estatísticas da Cultura”.

Como a base de dados do BdMuseus deixou de ser atualizada, desde 2011 só possível analisar a informação estatística que resulta do inquérito anual realizado pelo INE. Deste modo, neste subcapítulo serão analisados os parâmetros estatísticos dos museus de 2011 até 2015, de acordo com os dados do INE.

Na Fig.5 apresenta-se a evolução do número de museus inquiridos pelo INE, entre 2011 e 2015, de acordo com a sua situação.

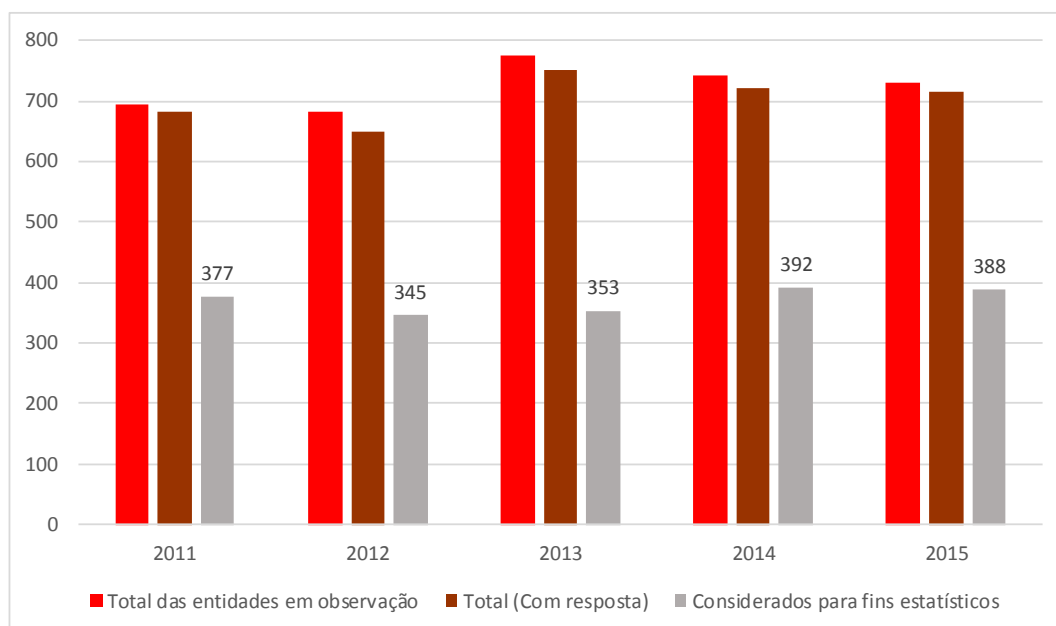


Fig. 5 - Evolução do número de museus inquiridos pelo INE, por situação, entre 2011-2015 (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2012, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2013, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2014, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2015, Instituto Nacional de Estatística, I.P. 2016)

Com base nos resultados do IMUS realizado pelo INE, o número de museus sofreu um decréscimo entre 2011 e 2012, mas a partir de 2012 e até 2014 aumentou significativamente, verificando-se o seu maior crescimento de 2013 para 2014, registando-se 353 museus em 2013 e 392 museus em 2014, os quais são considerados para fins estatísticos. Em 2015, observa-se um decréscimo, não muito acentuado, do número de museus que cumprem os cinco critérios acima referidos. No ano de 2015, o último a que se tem acesso à informação estatística, dos 669 museus em atividade, somente 388 é que são considerados para fins estatísticos por cumprirem os cinco critérios exigidos para tal. Destes 388 museus, considerados em 2015 pelo INE, a grande maioria é de funcionamento permanente, sendo que os Museus de Arte existem em maior quantidade (20%), seguidos dos Museus Mistos e Pluridisciplinares (16%) e dos Museus de Etnografia e de Antropologia (15%) (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2016).

2.3.2. FORMA JURÍDICA DE QUE OS MUSEUS DEPENDEM

As formas jurídicas mais comuns de gestão dos museus é a sua dependência de administrações central e local. A administração local (municípios) tem registado um peso crescente no decorrer dos anos, atingindo segundo os dados do INE 191 museus em 2015 (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2016, Neves, Santos e Lima 2013). O mesmo não acontece com a administração central que, de acordo com os dados do INE, tem diminuído o número de museus, registando, em 2015, apenas 61 museus (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2016).

2.3.3. DESPESAS DOS MUNICÍPIOS EM PATRIMÓNIO CULTURAL

Em relação às despesas dos municípios em património cultural, e de acordo com o “Inquérito aos Museus” de 2015 realizado pelo INE, as câmaras municipais financiaram cerca de 96,3 milhões de euros para o património cultural, mais cerca de 13 milhões que no ano anterior. Dentro do património cultural, os museus são os que registam maiores despesas (57%), cerca de 54,7 milhões de euros, mais 8 milhões que no ano anterior (Instituto Nacional de Estatística s.d., Instituto Nacional de Estatística, I.P 2016).

2.3.4. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS MUSEUS NO TERRITÓRIO NACIONAL

A evolução do número de museus por região do território nacional também deve ser avaliada pelo que, na Tabela 2 se apresenta essa evolução entre o período de 2011 e 2015, informação resultante do IMUS do INE.

Tabela 2 - Evolução do número de Museus no território nacional, por regiões (2011-2015) (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2012, Instituto Nacional de Estatística s.d.)

Região	2011	2012	2013	2014	2015
Norte	108	90	102	109	111
Centro	98	82	88	96	95
Área Metropolitana de Lisboa	80	76	75	80	75
Alentejo	53	52	42	59	64
Algarve	20	11	11	12	13

A região Norte é onde se localizam o maior número de museus no território nacional, de acordo com os museus inquiridos pelo INE. Em todas as regiões se verifica uma diminuição do número de museus de 2011 para 2012. Desde 2012 até 2015, o número de museus no Norte tem aumentado. O mesmo se passa na região Centro, mas com um número mais reduzido. A Área Metropolitana de Lisboa assistiu a dois decréscimos no número de museus, entre 2011 e 2013 e entre 2014 e 2015. O número de museus no Alentejo tem aumentado, registando apenas um decréscimo entre o ano 2011 e 2013. A região do Algarve é a que contém menos museus e a sua evolução, a partir do ano 2012 até 2015, tem sido mínima. Analisando agora detalhadamente a distribuição de museus no território nacional no ano de 2015, apresenta-se na Fig. 6 o mapa de Portugal Continental com essa distribuição por regiões.

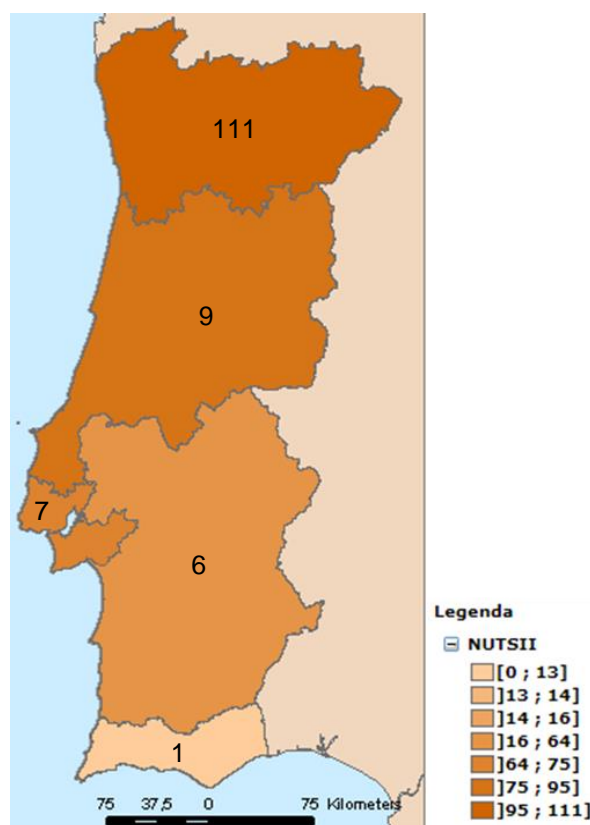


Fig. 6 - Distribuição dos museus em Portugal em 2015
(Instituto Nacional de Estatística s.d.)

Em 2015, a distribuição de museus no território nacional encontrava-se bem marcada. Neste ano, de acordo com as estatísticas, a região Norte era onde existia um maior número de museus (111 museus), seguido do Centro (95 museus) e da Área Metropolitana de Lisboa (75 museus).

2.3.5. BENS CULTURAIS

Os bens culturais são as obras de arte que constituem o acervo museológico.

De acordo com os museus inquiridos pelo INE, é apresentada na Fig. 7 a evolução do número de bens nos museus em Portugal, entre 2011 e 2015.

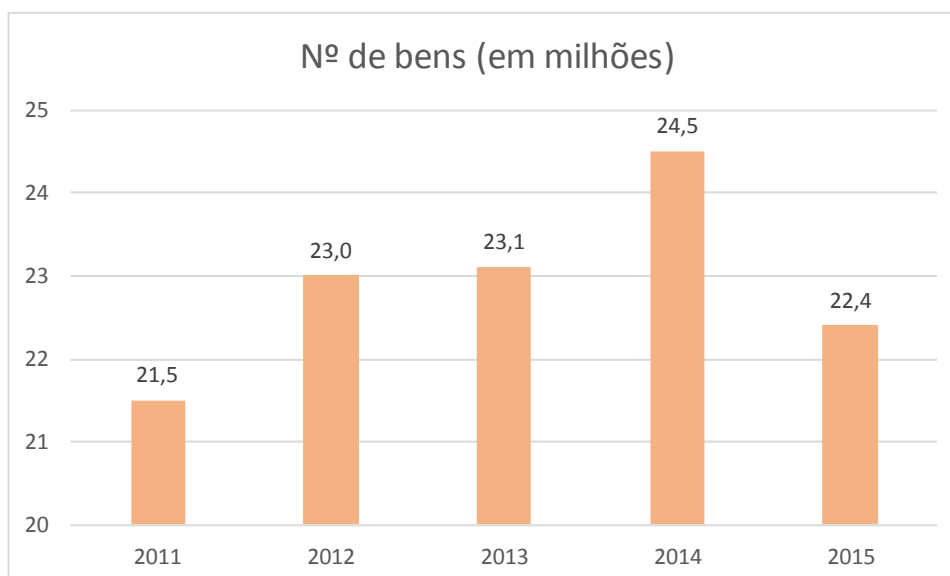


Fig. 7 - Evolução do número de bens nos museus portugueses inquiridos pelo INE, entre 2011-2015 (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2012, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2013, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2014, Instituto Nacional de Estatística, I.P 2015, Instituto Nacional de Estatística, I.P. 2016)

Pela análise da Fig. 7 verifica-se que o número de bens nos museus portugueses aumentou, significativamente, entre 2011 e 2014, registando o seu máximo em 2014 com 24,5 milhões de bens. Em 2015, existiu um decréscimo no número de bens de 2,1 milhões, em relação a 2014, que pode estar relacionado com o decréscimo do número de museus considerados para fins estatísticos. No entanto ainda existem bastantes bens nos museus, pelo que é necessário garantir a sua conservação.

2.3.6. VISITANTES E PESSOAL AFETO AO SERVIÇO

O número de visitantes e a quantidade de pessoal afeto ao serviço são fatores que podem ter influência na conservação dos acervos museológicos. Assim sendo, na Fig.8 pode ser observada a evolução do número de visitantes entre o ano de 2011 e de 2015.

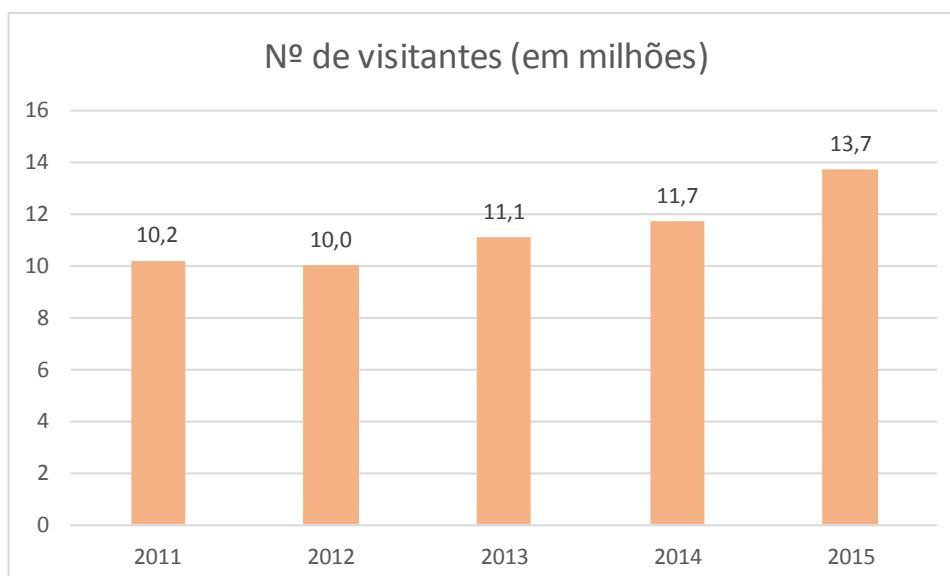


Fig. 8 - Evolução do número de visitantes dos museus em Portugal (em milhões) (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2012, Instituto Nacional de Estatística s.d.)

De acordo com a Fig. 8 verifica-se que o número de visitantes tem vindo a aumentar e que o ano de 2015 é o que regista o máximo de número de visitantes, aproximadamente 13,7 milhões. Outra informação permite-nos ainda afirmar que o maior número de visitantes são estrangeiros e que em 2015 representavam 38% do total de visitantes (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2016).

Em 2015 foram inquiridos pelo INE 388 museus, o que resulta numa média de 35 309 visitantes por museu. Considerando que um museu está aberto ao público cerca de 310 dias por ano e 8 horas por dia, o número de visitantes que um museu recebeu por hora nesse ano foi de 14, aproximadamente.

Esta evolução demonstra o crescimento do interesse das pessoas pela cultura e pelos bens museológicos, bem como o aumento do turismo cultural.

Quanto ao pessoal afeto ao serviço verifica-se que no ano de 2015 eram cerca de 4 mil funcionários, sendo que 92%, aproximadamente, eram remunerados e apenas 8% eram não remunerados. Do pessoal ao serviço, os conservadores/técnicos superiores eram os que existiam em maior percentagem (32%). De salientar também a presença de pessoal voluntário, que registou em 2015, 507 funcionários (Instituto Nacional de Estatística, I.P 2016, Instituto Nacional de Estatística s.d.). Deste modo, o universo dos museus constitui emprego relevante em Portugal.

Refira-se que esta informação é sempre relativa ao universo dos museus inquiridos pelo INE e considerados para fins estatísticos.

2.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO 2

Nos subcapítulos anteriores, foi possível constatar que os museus em Portugal continuam vivos, traduzido pelo número crescente de visitantes e envolvendo verbas significativas na sua exploração. Infelizmente, não se teve acesso aos custos anuais envolvidos com a reabilitação dos museus em Portugal.

Com a extinção do OAC e, consequente desatualização da BdMuseus – recenseamento dos museus, atualmente não é possível saber com exatidão qual o número de museus em Portugal. A única informação estatística que existe neste momento é a que resulta do inquérito realizado pelo INE. Aqui, apenas uma parte dos museus existentes é que constituem o universo dos inquiridos pelo INE. Dos museus inquiridos pelo INE, os que são considerados para fins estatísticos são os que cumprem estes cinco critérios: que têm pelo menos uma sala de exposição; estão abertos ao público; têm pelo menos um conservador ou técnico superior; possuem orçamento e inventário.

Os museus são, dentro do património cultural, aqueles que registam maiores despesas. Todos os anos as câmaras municipais financiam milhões de euros para o património cultural. Dos 96,3 milhões de euros financiados em 2015, cerca de 54% foram para despesas dos museus.

A informação estatística disponível no momento é a relativa ao ano de 2015, em que o número de museus considerados para fins estatísticos é de 388. Destes 388 museus, a maior parte localiza-se na região Norte de Portugal, seguido das regiões Centro e Área Metropolitana de Lisboa.

Um dos objetivos dos museus é conservar o seu acervo museológico dos danos, nomeadamente dos causados pela humidade. No caso dos museus portugueses, como se verificou existem alguns milhões de bens culturais a preservar. Em 2015, nos museus inquiridos pelo INE que são considerados para fins estatísticos, haviam 22,4 milhões de bens culturais, fora os edifícios patrimoniais que possam albergar alguns destes museus.

Outra informação analisada e que influencia diretamente a conservação dos bens culturais é o número de visitantes e de pessoal afeto ao serviço nos museus. Verificou-se que o número de visitantes tem vindo a aumentar, atingindo em 2015 13,2 milhões e que o número de pessoal afeto ao serviço nos museus também é significativo, cerca de 4 mil funcionários no universo de museus do INE. Isto significa que o interesse pelo turismo cultural tem aumentado e que os museus são um setor com importante empregabilidade em Portugal.

Muitos museus encontram-se instalados em edifícios antigos. Grande parte desses edifícios antigos têm ainda de ser reabilitados, de modo a garantir maior conforto, segurança e saúde aos visitantes e funcionários e melhorar as condições higrotérmicas interiores no que a preservação das coleções se refere. De notar, que esta reabilitação tem de ser implementada sem nunca destruir a história e o enquadramento dos edifícios que albergam estes museus. Se se estipular uma meta de 30 anos para a reabilitação dos 388 museus inquiridos pelo INE, é necessário reabilitar 12 museus por ano. É importante conhecer a disponibilidade financeira dos municípios e do Estado para a reabilitação dos museus, uma vez que os museus são, do património cultural, aqueles que maiores despesas têm.

De modo a controlar o clima interior dos museus, é necessário estudar e caracterizar o clima exterior das cidades em que os museus se situam e compreender de que modo as condições higrotérmicas interiores dos museus são afetadas. Estes aspetos serão abordados com mais detalhe no Capítulo 3.

3

CLIMAS EXTERIOR E INTERIOR DOS MUSEUS PORTUGUESES

3.1. IMPORTÂNCIA DOS CLIMAS EXTERIOR E INTERIOR EM MUSEUS

O clima exterior é caracterizado por vários parâmetros, sendo os mais interessantes para este estudo: a temperatura e a humidade relativa. De salientar que, o clima exterior tem um forte impacto no clima interior dos edifícios. Segundo Ramos, a temperatura interior é fortemente influenciada pela temperatura exterior, principalmente quando não existem sistemas de aquecimento adequados ou se existem, funcionam de forma intermitente (Ramos 2007). Os edifícios antigos têm sobrevivido ao longo do tempo, enfrentando uma série de mudanças, especialmente alterações a nível do clima exterior. Assim, o clima interior é influenciado diretamente pelo clima exterior. Com o passar dos anos, essas mudanças e influências são propícias a piorar ainda mais o processo de deterioração dos edifícios, bem como do acervo museológico, no caso de museus (Sulaiman, Schellen e Hensen 2010).

Portugal apresenta um clima moderado (Atlântico/Mediterrâneo), mas em comparação com outros países do sul da Europa, tem diferenças significativas devido à proximidade com o oceano Atlântico. Tal facto resulta num clima particular com invernos menos frios e verões menos quentes onde o perigo de extremos são menos perigosos (Casanovas, et al. 2013, Silva e Henriques 2014).

De modo a proporcionar ambientes interiores adequados para a preservação das coleções, as condições climáticas interiores dos museus são uma das exigências fundamentais (Kramer, Schellen e Schijndel 2016). As variações das condições climáticas no interior de museus são as principais responsáveis pelos danos causados nos materiais de revestimento e nas coleções museológicas desses museus (Sulaiman, Schellen e Hensen 2010).

Nos museus instalados em edifícios históricos pode ser necessário um maior controlo do seu clima interior com vista a conservar os acervos museológicos. O controlo da humidade relativa é um dos fatores mais importantes, sendo mais indispensável do que o da temperatura (Neuhaus e Schellen 2006). Para além da humidade relativa, o clima interior depende de outros fatores, tais como: o clima exterior, a iluminação, a produção de vapor causada pela presença de visitantes e pessoal afeto ao serviço e a ventilação. O controlo do clima interior dos edifícios que albergam museus deve-se basear nas exigências das coleções e não nas exigências do conforto térmico humano (Sulaiman, Schellen e Hensen 2010).

Os visitantes são uma fonte de calor, produção de vapor e CO₂ e transportam para o interior dos museus: poeiras, fragmentos de fibras têxteis, pólenes, etc. Deste modo, a concentração máxima de partículas em suspensão no interior dos edifícios é atingida quando existem visitantes presentes. Os visitantes são assim, um dos fatores que mais influência têm no clima interior (Camuffo e Bernardi 1995).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR

De forma a que se possa avaliar a influência que o clima exterior tem no clima interior, neste subcapítulo, procura-se caracterizar o clima exterior de três cidades portuguesas: Braga, Porto e Lisboa. Os dados disponíveis, referentes a estas cidades, dizem respeito aos *Test Reference Year* (TRY) das várias localidades. O TRY da cidade do Porto resultou do tratamento dos dados da Estação Meteorológica do Laboratório de Física das Construções (LFC) da FEUP. O TRY das cidades de Braga e Lisboa foram construídos por Rui Jerónimo com base em 10 anos de dados climáticos adquiridos do IPMA pela FEUP (Jerónimo 2014). As variáveis disponíveis são: temperatura (°C); humidade relativa (%); direção do vento (grau); intensidade média do vento (m/s); total da quantidade de precipitação (mm) e radiação solar global (W/m²). Para este estudo apenas foram utilizados e analisados a variação da temperatura e da humidade relativa das três cidades referidas, embora existam dados de todas as capitais de distrito.

O TRY consiste num conjunto de dados de variáveis meteorológicas, neste caso, temperatura e humidade relativa, horárias ao longo de um ano e deve corresponder a um ano médio de referência em que existam períodos quentes e frios (Ramos 2007). Estas séries de dados representam condições de referência e não extremas na região em causa (Bilbao, et al. 2004). Os dados da temperatura e da humidade relativa apresentados neste subcapítulo dizem respeito aos valores médios horários.

3.2.1. BRAGA

Braga é uma cidade localizada no Noroeste de Portugal.

Na Fig. 9 está representada a variação média horária da temperatura e da humidade relativa, de acordo com o ano de referência da cidade. Na Tabela 3 são apresentados alguns parâmetros estatísticos que caracterizam o clima: os valores mínimo, médio e máximo da temperatura e da humidade relativa, bem como a diferença entre os valores máximo e mínimo.

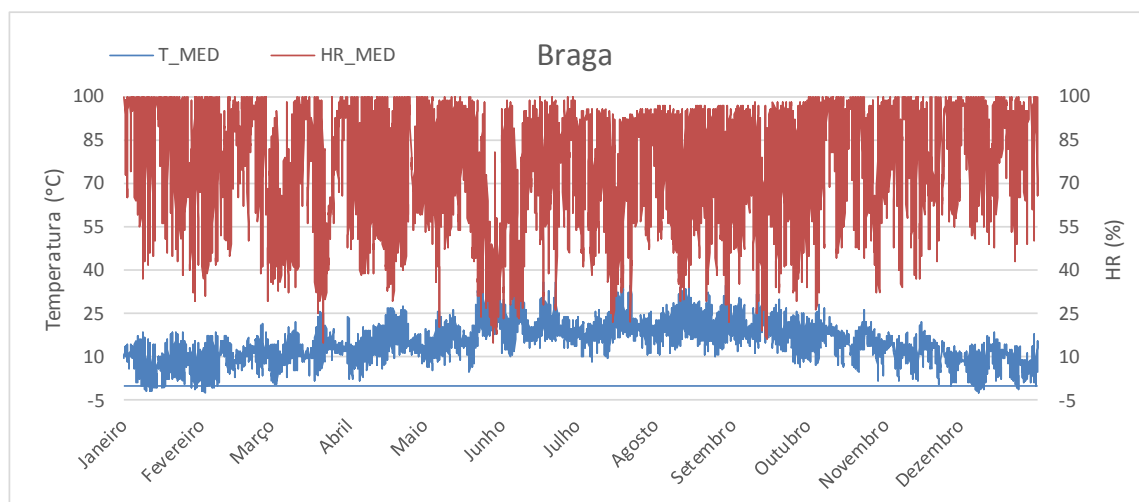


Fig. 9 – Variação horária da T e HR para a cidade de Braga

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos para a cidade de Braga

	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)
Mínimo	-2,6	15
Média	14,7	77
Máximo	36,2	100
Δ=Máximo-Mínimo	38,8	85

Pela análise da Fig.9 e da Tabela 3 verifica-se uma grande variação dos valores da temperatura e da humidade relativa, em particular pela análise do $\Delta T_{\text{ext}} = 38,8^{\circ}\text{C}$ e do $\Delta HR_{\text{ext}} = 85\%$.

3.2.2. PORTO

A cidade do Porto é uma cidade do Norte do país, situada no litoral.

Na Fig. 10 está representada a variação média horária da temperatura e da humidade relativa, de acordo com o ano de referência da cidade. Para uma melhor compreensão, na Tabela 4 são apresentados alguns parâmetros estatísticos: os valores mínimo, médio e máximo da temperatura e humidade relativa, bem como a diferença entre os valores máximo e mínimo.

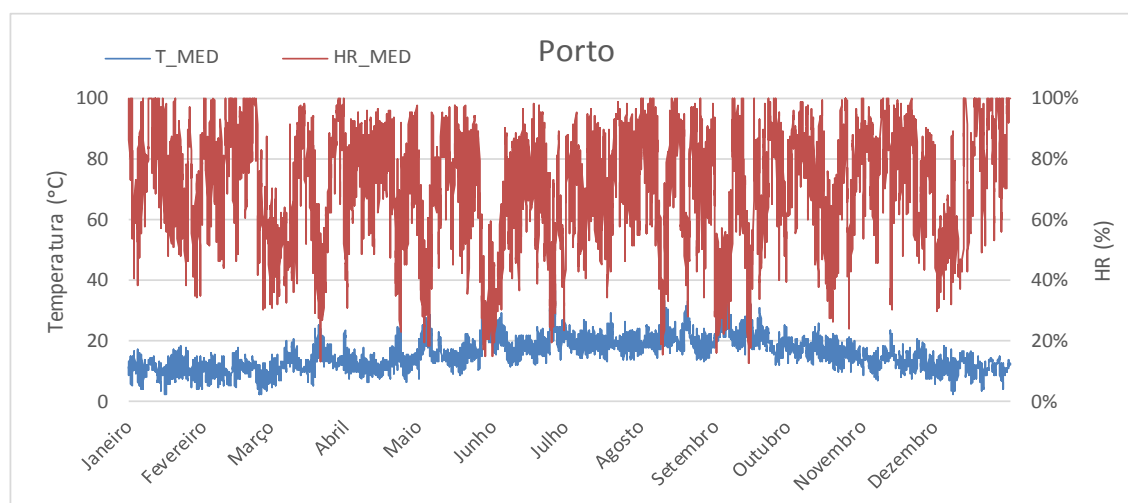


Fig. 10 – Variação horária da T e HR para a cidade do Porto

Tabela 4 - Parâmetros estatísticos para a cidade do Porto

	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)
Mínimo	2,4	13
Média	15,4	72
Máximo	36,4	100
Δ=Máximo-Mínimo	34,1	87

De acordo com a Fig.10 e a Tabela 4 verifica-se uma grande variação dos valores da temperatura e da humidade relativa, em particular pela análise do $\Delta T_{\text{ext}} = 34,1^{\circ}\text{C}$ e do $\Delta \text{HR}_{\text{ext}} = 87\%$.

As cidades de Braga e Porto têm temperaturas máximas, praticamente, iguais, o que não era expectável, pois Braga deveria apresentar uma temperatura máxima superior à da cidade do Porto. Relativamente à temperatura mínima, a cidade do Porto apresenta uma temperatura superior à calculada para a cidade de Braga, ou seja, a cidade do Porto é mais quente no inverno. Quanto à variação dos valores da temperatura e da humidade relativa, traduzida pela diferença entre os valores máximos e mínimos, o Porto regista uma menor variação da temperatura e uma maior variação da humidade relativa quando comparado com Braga. Uma das justificações para estas diferenças é o facto da cidade do Porto ter uma localização mais próxima do oceano Atlântico.

3.2.3. LISBOA

Lisboa é uma cidade do litoral, localizada no Centro Sul de Portugal.

Na Fig. 11 está representada a variação média horária da temperatura e da humidade relativa, de acordo com o ano de referência da cidade. Na Tabela 5 são apresentados alguns parâmetros estatísticos que caracterizam o clima desta cidade: os valores mínimo, médio e máximo da temperatura e humidade relativa, bem como a diferença entre os valores máximo e mínimo.

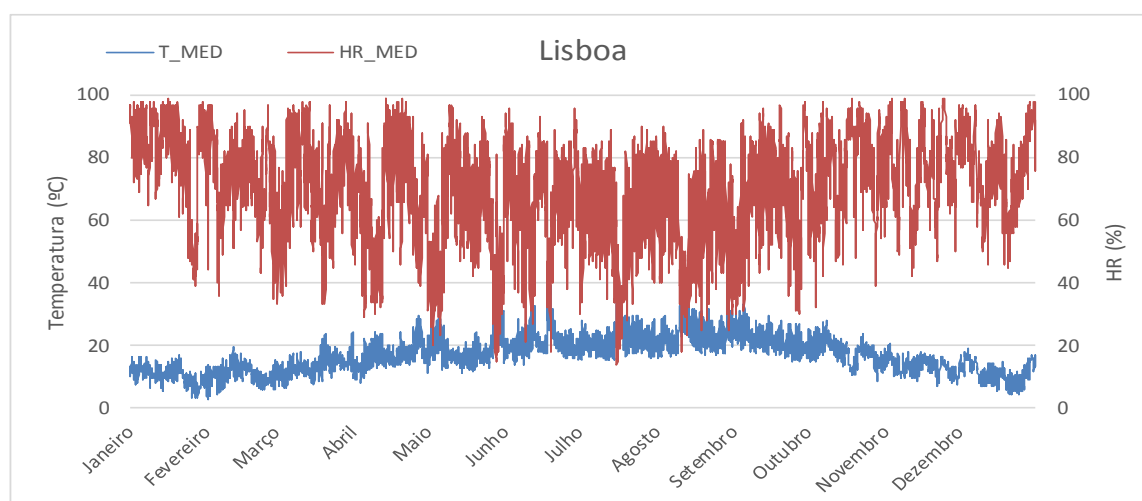


Fig. 11 – Variação horária da T e HR para a cidade de Lisboa

Tabela 5 - Parâmetros estatísticos para a cidade de Lisboa

	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Humidade Relativa (%)
Mínimo	2,6	14
Média	16,6	70
Máximo	39,0	99
Δ=Máximo-Mínimo	36,4	85

Pela análise da Fig.11 e da Tabela 5 verifica-se uma grande variação dos valores da temperatura e da humidade relativa, em particular pela análise do $\Delta T_{\text{ext}} = 36,4^{\circ}\text{C}$ e do $\Delta \text{HR}_{\text{ext}} = 85\%$.

Em comparação com Braga e Porto, Lisboa apresenta verões mais quentes e invernos menos frios e humidade relativa máxima inferior. As cidades de Braga e Porto são mais húmidas do que Lisboa. Estes valores espelham a localização da cidade: proximidade ao oceano Atlântico e o facto de se situar mais na região sul de Portugal Continental.

Seria importante dispor do TRY para todas as capitais de distrito e uma tabela com os parâmetros estatísticos.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA INTERIOR

Este subcapítulo será dividido em duas partes. Numa parte vai ser analisado um museu localizado no Norte de Portugal (Porto) e na segunda parte vai ser analisado um museu da região Centro Sul de Portugal (Lisboa).

Para melhor compreender a variação do clima interior dos museus, neste subcapítulo são avaliados os dados disponibilizados de dois museus de Portugal: MPorto e o MLisboa.

3.3.1. MPORTO

O MPorto encontra-se instalado no 2º piso de um edifício do séc. XIX, na cidade do Porto, tendo sofrido uma intervenção entre 2009 e 2010. O museu é composto por uma reserva de desenhos, duas reservas de pintura, uma reserva de escultura de pequenas dimensões e uma galeria de exposições com acesso para o exterior (C. S. Ferreira 2015).

A coleção do museu é composta por trabalhos realizados pelos estudantes durante o período de formação, por provas de concurso de docentes para integrarem a instituição de ensino ou para evoluírem na carreira e por algumas doações e aquisições (C. S. Ferreira 2015).

As reservas de pintura e escultura estão fechadas ao público e servem para guardar os trabalhos que já não se encontram em exposição. A galeria de exposições encontra-se aberta ao público com exposição das obras de arte que fazem parte da coleção do museu e dos trabalhos realizados pelos estudantes (C. S. Ferreira 2015). Como nesta dissertação se pretende estudar o clima interior de museus com acesso a visitantes, só vai ser analisado o clima da galeria de exposições.

O ar que entra na galeria de exposições vem diretamente do exterior, por isso é possível comparar as condições higrotérmicas interiores com as exteriores. Esta galeria não possui nenhum sistema de aquecimento ou de arrefecimento e tem ocupação desconhecida (C. S. Ferreira 2015).

Na tese de doutoramento, Ferreira 2015, foram recolhidos dados das condições higrotérmicas do MPorto, entre Março de 2011 e Março de 2014. Os registos de 10 em 10 minutos da temperatura e da humidade relativa foram transformados em valores horários. Na Fig.12 apresenta-se o TRY da cidade do Porto, bem como a variação das condições higrotérmicas interiores (temperatura e humidade relativa) registadas na galeria de exposições durante o ano de 2012.

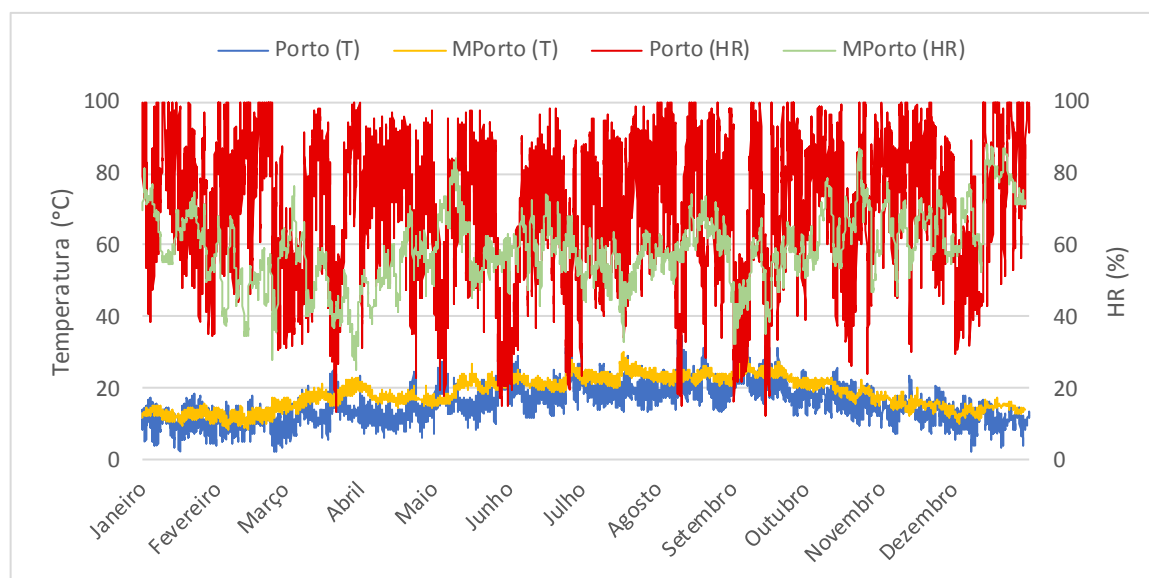


Fig. 12 – TRY da cidade do Porto e variação de T e HR da galeria de exposições do MPorto, no ano 2012

Pela análise da Fig.12 verifica-se uma grande flutuação dos valores da temperatura e da humidade relativa.

Como já foi referido, o ar que entra na galeria de exposições do MPorto vem diretamente do exterior, logo pode-se comparar as condições higrotérmicas interiores com as exteriores. Como este museu se situa na cidade do Porto, compara-se os valores da T e da HR da galeria com os valores analisados na secção 3.2.2., ou seja, o TRY da cidade do Porto. Essa comparação pode ser avaliada quer na representação gráfica da Fig. 12, quer através dos parâmetros estatísticos da Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos da cidade do Porto e das condições higrotérmicas interiores da galeria de exposições

	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	Porto	Galeria de exposições	Porto	Galeria de exposições
Mínimo	2,4	8,6	13	25
Média	15,4	18,6	72	59
Máximo	36,4	30,2	100	88
Δ=Máximo-Mínimo	34,1	21,6	87	63

De acordo com a Tabela 6, o $\Delta T_{\text{ext}} = 34,1^{\circ}\text{C}$, enquanto o $\Delta T_{\text{galeria}} = 21,6^{\circ}\text{C}$. O ΔHR_{ext} é 87% e o $\Delta HR_{\text{galeria}}$ é 63%. A temperatura e humidade relativa interiores apresentam um intervalo de variação mais reduzido comparado com o exterior. Além da diferença entre os valores máximos e mínimos da temperatura e humidade relativa interior e exterior, verifica-se que a temperatura média exterior é inferior à

temperatura média interior e que a humidade relativa média exterior é superior à humidade relativa média interior.

3.3.2. MLISBOA

O MLisboa, localizado em Lisboa, é um dos museus de arte mais antigos de Portugal. Este museu tem sofrido várias remodelações para conseguir acompanhar a evolução da museologia. Entre 2006 e 2008, o edifício foi objeto de uma intervenção mais profunda, na qual se aumentou a área de exposição permanente. Situado no edifício de uma antiga casa, este museu abriu ao público em 1905. Da origem do edifício, do século XVI/XVII, o antigo “claustro da portaria” é o que ainda se conserva, sendo, atualmente, um local de exposição permanente (Santa Casa da Misericórdia de Lisboa 2017).

A coleção do museu é composta por pintura, escultura, ourivesaria, capela, onde se encontram peças de ourivesaria, paramentaria, rendas e livros litúrgicos, relicários da Igreja e do MLisboa, arte oriental com peças de arte sacra, frontais, iluminura com livros e documentos iluminados, representativos da arte da iluminura europeia e obras de Rodrigo Alves (Santa Casa da Misericórdia de Lisboa 2017).

Dos espaços de exposição permanente fazem parte cinco núcleos: um com a história da Ermida de São Roque; um dedicado à Companhia de Jesus; um de arte oriental; um do tesouro da Capela de São João Batista, um dos empreendimentos do reinado de D. João V e um dedicado à Misericórdia de Lisboa. Estes espaços de exposição permanente têm como objetivo dar a conhecer a história do local onde o museu se encontra (Santa Casa da Misericórdia de Lisboa 2017).

Os dados disponibilizados deste museu dizem respeito às condições higrotérmicas interiores com registos médios horários de temperatura e humidade relativa de quatro espaços: sala X, vitrina da sala X, núcleo Y, do qual faz parte a Capela de São João Batista e vitrina do núcleo Y. Também fazem parte dos dados o horário de funcionamento e os visitantes. Os registos foram efetuados entre Maio de 2016 e Março de 2017.

Nesta secção serão apresentados o clima da sala X e o clima da vitrina estanque, ou seja, sem ventilação, que se localiza no interior dessa sala.

Na Fig.13 encontra-se o TRY da cidade de Lisboa e a variação das condições higrotérmicas interiores (temperatura e humidade relativa) registadas na sala X.

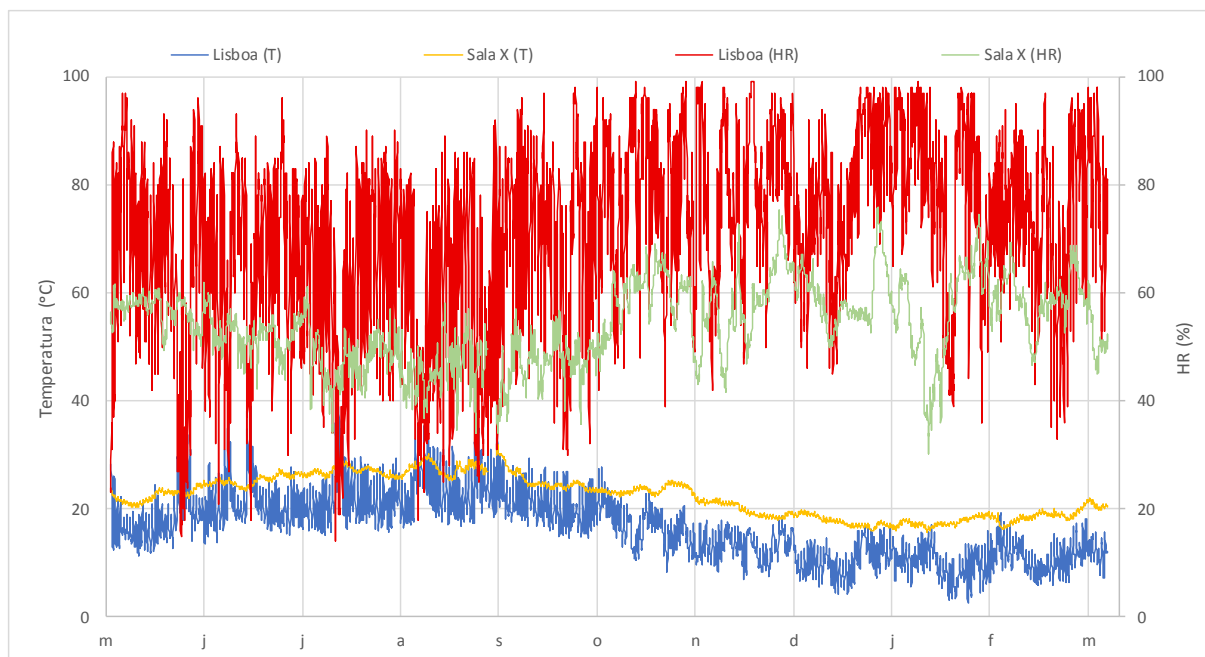


Fig. 13 – TRY da cidade de Lisboa e a variação de T e HR da sala X

Este museu situa-se em Lisboa, logo é possível comparar as condições higrotérmicas interiores com o TRY da cidade de Lisboa. Na Tabela 7 é visível essa comparação. Os dados referentes à cidade de Lisboa são os mesmos apresentados na secção 3.2.3.

Tabela 7 - Parâmetros estatísticos da cidade de Lisboa e das condições higrotérmicas interiores da sala X

	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	Lisboa	Sala X	Lisboa	Sala X
Mínimo	2,6	15,7	14	30
Média	16,6	22,4	70	54
Máximo	39,0	31,9	99	76
Δ=Máximo-Mínimo	36,4	16,2	85	46

Pela análise da Tabela 7 é possível verificar que: ΔT_{ext} é 36,4°C e a $\Delta T_{\text{sala X}}$ é 16,2°C e que a ΔHR_{ext} é 85% e a $\Delta HR_{\text{sala X}}$ é 46%. Apesar das variações higrotérmicas interiores não serem tão grandes quando comparado com as do museu situado no Porto, ainda existe uma flutuação visível. Tanto a temperatura como a humidade relativa interior apresentam um intervalo de variação mais reduzido comparado com o exterior. Além da diferença entre os valores máximos e mínimos das condições higrotérmicas interiores e exteriores, verifica-se que a temperatura média interior é superior à temperatura média exterior e que a humidade relativa média interior é inferior à humidade relativa média exterior.

Refira-se que esta sala possui um sistema de aquecimento que de certa forma controla as condições climáticas interiores dentro de um intervalo que é desconhecido. Apesar de possuir este sistema ainda se verifica uma grande flutuação da humidade relativa.

Na Fig.14 encontra-se a variação das condições higrotérmicas (temperatura e humidade relativa) registadas no interior de uma vitrina presente na sala X e o clima da sala X. Na Tabela 8 é apresentada a comparação de alguns parâmetros estatísticos entre a sala X e a vitrina da sala X.

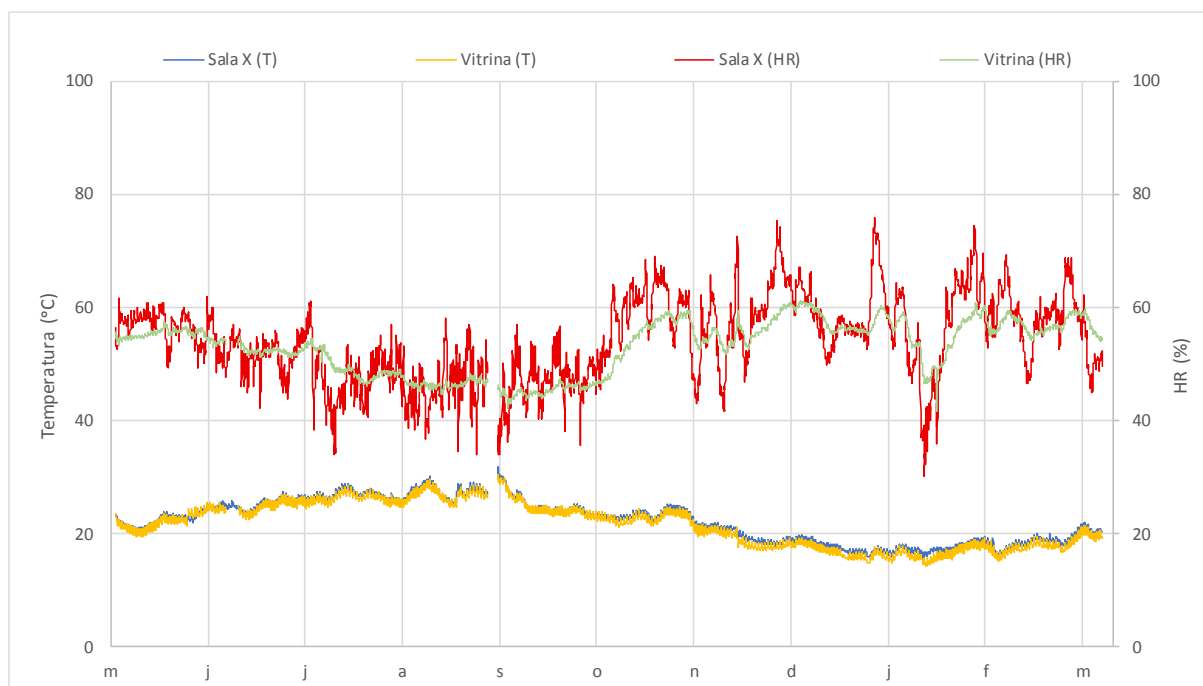


Fig. 14 – Variação de T e HR da vitrina da sala X e da sala X

Tabela 8 - Parâmetros estatísticos das condições higrotérmicas interiores da sala X e da vitrina da sala X

	Temperatura (°C)		Humidade Relativa	
	Sala X	Vitrina	Sala X	Vitrina
Mínimo	15,7	14,3	30	42
Média	22,4	21,7	54	53
Máximo	31,9	30,4	76	61
Δ=Máximo-Mínimo	16,2	16,1	46	19

Pela análise da Fig.14 e da Tabela 8 verifica-se que os valores da temperatura e da humidade relativa registados no interior da vitrina são mais contantes que os valores registados na sala X. Isto, mostra a vantagem do uso das vitrinas para o controlo das condições higrotérmicas interiores em museus. De acordo com a Tabela 8: $\Delta T_{\text{vitrina}} = 16,1^{\circ}\text{C}$ e $\Delta HR_{\text{vitrina}} = 19\%$. Os valores obtidos para a sala X são:

$\Delta T_{\text{sala X}} = 16,2^{\circ}\text{C}$ e $\Delta \text{HR}_{\text{sala X}} = 46\%$. A diferença de temperaturas não é muito notória, mas para o caso da humidade relativa, a diferença entre os valores do interior da vitrina e do exterior, a sala X, é bem visível. Além da diferença entre os valores máximos e mínimos da temperatura e humidade relativa da vitrina e da sala, verifica-se que a temperatura média na vitrina é inferior à temperatura média na sala e que a humidade relativa média da sala é superior à da vitrina.

3.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO 3

Nos museus, o valor e a importância do acervo museológico é enorme, por isso um clima interior controlado é uma obrigação (Neuhaus, Pernot, et al. 2010). Cada objeto museológico exposto num museu ou parte integrante de um edifício histórico precisa de um microclima controlado para ser preservado. A necessidade de observar as variações climáticas ao longo do tempo é de primordial importância para museus (Corgnati, Fabi e Filippi 2009).

O controlo do microclima no património cultural necessita de um cuidado especial, uma vez que existe uma grande variedade de obras de arte expostas nos museus constituídos por diferentes materiais, como por exemplo, pedra, mármore, madeira, têxtil, etc. O clima interior desempenha um papel fundamental no processo de deterioração do acervo museológico, em particular as elevadas flutuações de temperatura e de humidade relativa ou a adoção de valores mínimos e máximos de temperatura e de humidade relativa que não são adequados aos objetos que o museu alberga (Corgnati, Fabi e Filippi 2009).

Os edifícios podem não responder adequadamente às mudanças rápidas dos climas exteriores, gerando flutuações no interior e criando, assim, condições climáticas interiores inaceitáveis. Isto cria um risco para os acervos museológicos, por isso os edifícios antigos poderão ter uma abordagem de conservação passiva adequada para salvaguardar os recursos culturais e para preservar o património cultural (Sulaiman, Schellen e Hensen 2010).

Neste capítulo foram analisados os TRY de três cidade portuguesas: Braga, Porto e Lisboa. A cidade de Braga apresenta uma temperatura máxima praticamente igual à temperatura máxima da cidade do Porto, $T_{\text{máx, Braga}} = 36,2^{\circ}\text{C}$ e $T_{\text{máx, Porto}} = 36,4^{\circ}\text{C}$, o que não corresponde bem à realidade, pois a cidade de Braga é mais quente que a cidade do Porto. Lisboa, em comparação com Braga e Porto, é a cidade que apresenta temperaturas superiores com $T_{\text{máx, Lisboa}} = 39,0^{\circ}\text{C}$. Quanto aos valores de humidade relativa, a cidade de Braga é a mais húmida, com humidade relativa média de 77%, seguida do Porto com 72% e Lisboa com 70%. Estes valores de temperatura e de humidade relativa refletem a localização das diversas cidades em Portugal. Para uma melhor análise do clima exterior de Portugal seria importante dispor do TRY para todas as capitais de distrito e uma tabela com os parâmetros estatísticos.

As condições higrotérmicas interiores dos museus analisados neste capítulo apresentam grandes flutuações de temperatura e de humidade relativa, tanto no MPorto sem instalação de sistemas de aquecimento e arrefecimento como no MLisboa com sistema de aquecimento. A galeria de exposições do MPorto apresenta um ΔHR de 63% e o ΔHR da sala X do MLisboa é de 46%. Assim, estes museus necessitam de uma grande campanha de monitorização e de um ajuste das suas condições climáticas interiores. Com o exemplo demonstrado do MLisboa, é possível verificar o benefício do uso das vitrinas para melhorar o controlo das condições higrotérmicas interiores, sobretudo da humidade relativa, uma vez que $\Delta \text{HR}_{\text{sala X}} = 46\%$ e o $\Delta \text{HR}_{\text{vitrina}} = 19\%$.

A capacidade higroscópica dos materiais utilizados no interior dos museus favorece a estabilidade climática do edifício. Na ausência destes materiais, as flutuações da humidade relativa são muito mais elevadas. Estas flutuações com amplitudes elevadas existem devido a mudanças repentinas das condições climáticas exteriores. Isto pode ser amortecido pelo uso de materiais higroscópicos de

revestimento interior (Kilian, Holm e Radon 2008). No Capítulo 4, descreve-se de forma mais pormenorizada as propriedades higroscópicas de materiais de revestimento e pinturas.

4

PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS DE MATERIAIS DE REVESTIMENTO E PINTURAS

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Cada material ou objeto tem as suas próprias características e climas mais ou menos apropriados para a sua preservação (Erhardt, Tumosa e Mecklenburg 2007). A humidade relativa é influenciada pela temperatura, pois uma mudança de temperatura altera a humidade relativa. Como cada material ou objeto possui diferentes condições de preservação, os valores mais adequados para um, podem ser prejudiciais para outro. É necessário ter em consideração os efeitos a curto prazo, bem como os processos de envelhecimento a longo prazo de cada material ou objeto (Erhardt, Tumosa e Mecklenburg 2007).

A capacidade que um edifício ou compartimento possui em adsorver o excesso de humidade existente no ar e restituí-la novamente ao ambiente quando esta é baixa, reduzindo assim os picos de humidade relativa, designa-se por inércia higroscópica. Os responsáveis por este mecanismo são os materiais higroscópicos de revestimento presentes no interior dos edifícios (C. S. Ferreira 2015, Osanyintola e Simonson 2006). Estes materiais contribuem para controlar a humidade relativa interior e melhorar o conforto do ambiente interno (Osanyintola e Simonson 2006). Muitos dos materiais de revestimento presentes no interior dos museus localizados em edifícios antigos, são porosos e higroscópicos (C. S. Ferreira 2015).

Os edifícios antigos, construídos em países com climas temperados (Atlântico/Mediterrâneo), como é o caso de Portugal, possuem elevada inércia térmica. Vários estudos demonstram que, em museus instalados em edifícios antigos com um clima temperado, a inércia higroscópica é um aspeto essencial para o controlo das condições climáticas interiores de preservação e conservação, sem ser necessário, em muitos casos, a instalação de complexos sistemas ativos (Casanovas, et al. 2013). As vitrinas podem ser utilizadas como forma de controlo mais apertado da flutuação da humidade relativa em museus instalados em edifícios antigos e localizados em regiões com climas temperados. Dentro de vitrinas, com a introdução de materiais higroscópicos de revestimento e uma ventilação adequada, a flutuação da humidade relativa pode ser controlada (Ferreira, Freitas e Ramos 2015).

O interesse desta dissertação é caracterizar alguns materiais higroscópicos de revestimento e sua influência nas condições climáticas interiores de museus instalados em edifícios antigos, pelo que, o objetivo deste capítulo é a compilação de valores das propriedades higroscópicas de materiais de revestimento e pinturas. As propriedades higroscópicas que serão caracterizadas são: a curva

higroscópica, a permeabilidade ao vapor de água, a espessura da camada de ar de difusão equivalente de pinturas e o *Moisture Buffer Value* - MBV.

4.2. CURVA HIGROSCÓPICA

A relação entre o teor de humidade de um material e a humidade relativa do ambiente onde este se encontra, a temperatura constante, designa-se por curva higroscópica (C. S. Ferreira 2015, Hansen 1986).

Com o passar dos anos, foram encontrados vários tipos de curvas higroscópicas de adsorção para diferentes materiais a diferentes vapores e gases. Estas curvas foram agrupadas em cinco classes pelos químicos *Brunauer* e *Emmet* e pelo físico *Teller* que se apresentam na Fig. 15 (C. S. Ferreira 2015, Hansen 1986).

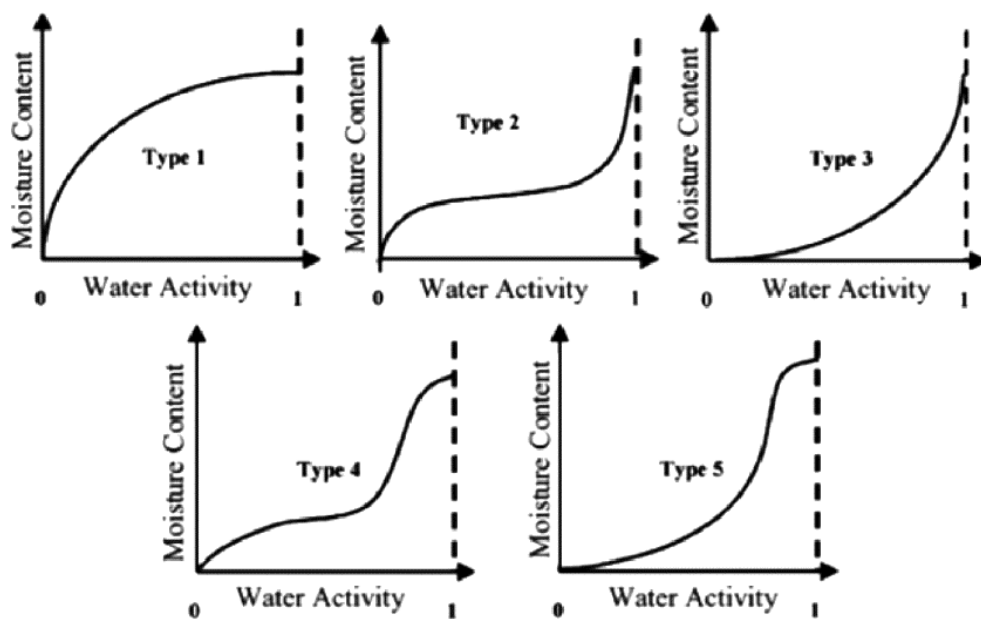


Fig. 15 - As cinco formas de curvas higroscópicas de acordo com *Brunauer*, *Emmet* e *Teller* (researchgate.net 2008-2017)

Os tipos de curvas higroscópicas mais comuns são o tipo 1 e o tipo 2, no entanto, a maioria dos materiais de construção higroscópicos são caracterizados por curvas do tipo 2, em forma de S, como a que se apresenta na Fig.16 (C. S. Ferreira 2015, Hansen 1986).

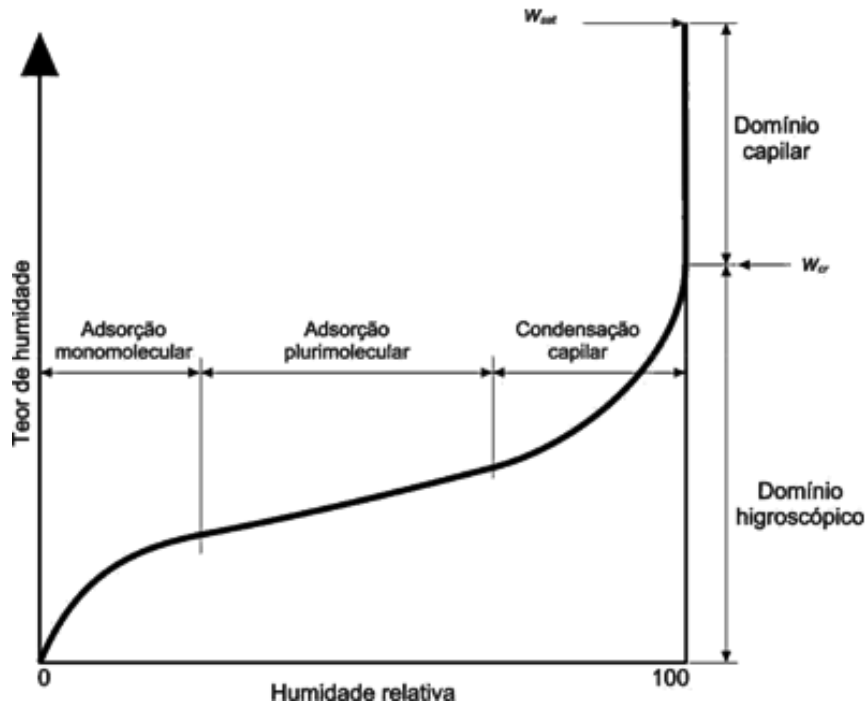


Fig. 16 - Curva higroscópica do tipo 2 (Adaptado de: Freitas 1992)

Analisando a Fig. 16 é possível verificar que, com o aumento da humidade relativa, a inclinação da curva higroscópica é acentuada no início, diminuindo posteriormente, voltando, no final, a ser acentuada. O aumento do teor de humidade é caracterizado por duas zonas: a zona de domínio higroscópico e a zona de domínio capilar. O ponto de interseção destas duas zonas é designado por teor de humidade crítico.

A zona de domínio higroscópico tem como limites a humidade relativa, entre 0% e 95%, correspondendo a teores de humidade, entre o zero absoluto e o teor de humidade crítico, respetivamente. A curva higroscópica, na região de domínio higroscópico, encontra-se dividida em três partes, de acordo com o tipo de fixação do vapor de água por adsorção. Esta fixação corresponde às forças intermoleculares existentes no interior dos poros, na interface sólido-líquido (Ramos 2007). A adsorção monomolecular corresponde à adesão de uma camada de moléculas de água às paredes dos poros do material e está compreendida entre os valores de humidade relativa 0% e 12%, aproximadamente. Seguidamente, a adsorção plurimolecular, correspondendo a valores de humidade relativa de 12% até 50%, caracteriza-se pela sobreposição de várias camadas na primeira adsorvida. A última etapa da curva higroscópica designa-se por condensação capilar que corresponde à união das camadas plurimoleculares, formando meniscos. Nesta fase, a humidade relativa atinge o valor aproximado de 95% (Correia 2013, Ramos 2007).

Para além da curva higroscópica de adsorção existe também a curva higroscópica de desadsorção. Estas duas curvas, em geral, não são coincidentes devido ao fenómeno designado por histerese. Em geral, a curva higroscópica de desadsorção apresenta-se acima da curva higroscópica de adsorção, como apresentado na Fig. 17 (C. S. Ferreira 2015, Ramos 2007). A diferença entre as duas curvas é mais evidente na fase da condensação capilar, que corresponde à 3ª fase. Nesta fase verifica-se que o teor de humidade no início desta fase é menor quando o material é sujeito a um aumento da humidade relativa (adsorção) do que quando o material é sujeito a uma diminuição da humidade relativa, ou seja, está em desadsorção (Melão 2009).

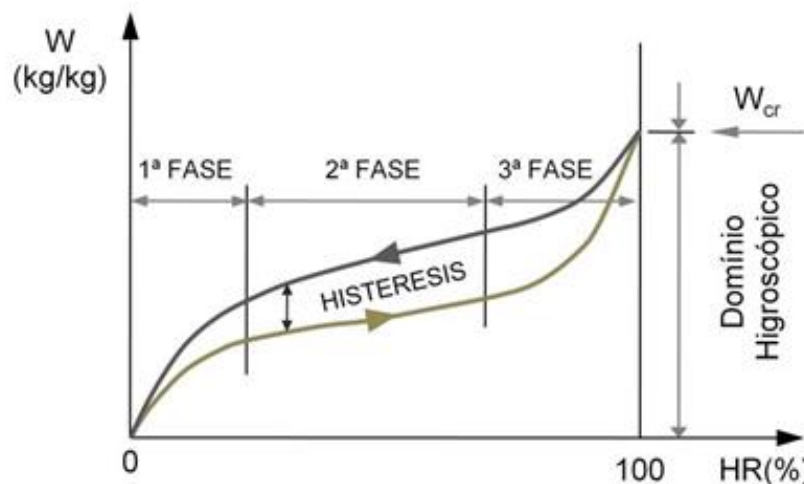


Fig. 17 – Curvas de adsorção e desadsorção (Adaptado de: Freitas 1992)

A determinação das curvas higroscópicas de qualquer material deve seguir o prescrito na norma EN ISO12571:2013 - *Hygrothermal performance of building materials and products: Determination of hygroscopic sorption properties*, em que um determinado material é colocado sucessivamente em ambientes com diferentes valores de humidade relativa e é determinado o teor de humidade de equilíbrio do material. O método mais comum para a determinação das curvas é o método gravimétrico, no qual se procede à pesagem da massa de água presente numa amostra. Determina-se, assim, o teor de humidade do material para uma determinada humidade relativa do ambiente em que a amostra está em equilíbrio (C. S. Ferreira 2015).

4.3. PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

A permeabilidade ao vapor de água (δ_p) de um material homogéneo expressa-se por kg/(m.s.Pa) e representa a quantidade de vapor de água, por unidade de tempo e espessura, que se propaga por difusão através de um provete desse material, quando sujeito a uma diferença de pressão de vapor unitário entre as suas faces (C. S. Ferreira 2015).

Esta propriedade higroscópica qualifica o potencial de difusão dos materiais porosos, pois permite antever a maior ou menor facilidade de transferência de vapor de água através do material (C. S. Ferreira 2015, Melão 2009). Deste modo, a permeabilidade ao vapor de água é função da porosidade dos materiais e respetiva estrutura porosa. Em geral, quanto maior for a porosidade dos materiais maior será a permeabilidade ao vapor de água desse material (C. S. Ferreira 2015).

Um dos métodos de ensaio mais comuns para determinar a permeabilidade ao vapor de água é o método das tinas prescrito pela norma EN12572:2001 - *Hygrothermal performance of building materials and products: Determination of water vapour transmission properties*. De acordo com este método, o provete é colocado numa câmara climática, selado na face aberta de uma tina de ensaio que pode conter um dessecante (tina seca) ou uma solução salina saturada (tina húmida), por forma a que seja criada uma diferença de pressão entre as duas faces do provete (Ramos 2007). Normalmente, no ensaio da tina seca os materiais são sujeitos a uma diferença de pressão de vapor provocada por uma humidade relativa de 0% no interior da tina e 50% no exterior da tina, ou seja, na câmara climática. No ensaio da tina húmida os provetes são sujeitos a uma diferença de pressão de vapor provocada por uma humidade relativa de

93% no interior da tina e 50% no exterior da tina, ou seja, na câmara climática, sempre à mesma temperatura.

4.4. ESPESSURA DA CAMADA DE AR DE DIFUSÃO EQUIVALENTE

Esta propriedade é dirigida a camadas de reduzida espessura (pinturas) e permite avaliar a permeabilidade ao vapor desses materiais. A espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) expressa-se em metros e corresponde à espessura da camada de ar em repouso com a mesma resistência à difusão de vapor de água do material (C. S. Ferreira 2015).

Com base em alguns estudos realizados pode-se afirmar que a espessura da camada de ar de difusão equivalente aumenta com a aplicação da camada de primário antes da camada de tinta final (C. S. Ferreira 2015).

4.5. MOISTURE BUFFER VALUE - MBV (MÉTODO NORDTEST)

Todas as propriedades caracterizadas anteriormente são importantes para definir a capacidade de trocas de vapor entre o material e o ambiente. Contudo, existe outra propriedade global, determinada experimentalmente, que indica claramente qual a quantidade de vapor transportada de ou para um material, quando este é exposto a uma determinada variação de humidade relativa do ar (Casanovas, et al. 2013, Latif, et al. 2015, Ramos 2007). Esta propriedade designa-se por *Moisture Buffer Value* (MBV) e foi definida no âmbito de um projeto nórdico, o NORDTEST, tendo sido elaborado um protocolo para sua determinação. Neste projeto integraram vários parceiros como: a Universidade Técnica da Dinamarca (DTU) que foi a líder do projeto; a VTT (*Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus*) da Finlândia, também conhecida como *VTT Technical Research Centre of Finland Ltd*; Byggforsk da Noruega (NBI) e a Universidade de Lund na Suécia (LTH) (Rode, et al. 2007).

O protocolo do NORDTEST estabelece que o MBV é determinado em duas fases de variação da humidade relativa, a temperatura constante de 23°C: uma fase de 16 horas em que a humidade relativa está a 33% e outra fase de 8h em que a humidade relativa é de 75% (C. S. Ferreira 2015). O material é colocado numa câmara climática, registando-se a variação das massas de água (C. S. Ferreira 2015, Latif, et al. 2015). Quando se verifica uma repetição do ciclo estável, o ensaio termina (C. S. Ferreira 2015). O MBV é calculado como a diferença entre o máximo e mínimo das variações das massas registadas no ciclo estável (C. S. Ferreira 2015, Latif, et al. 2015). O ciclo estável é atingido quando se igualam os valores da massa de água adsorvida e os valores da massa de água desadsorvida (C. S. Ferreira 2015).

O *Moisture Buffer Value* expressa-se em $g/(m^2.\%HR)$ e consoante os valores obtidos, os materiais de revestimento podem ser classificados em cinco categorias: insignificante, limitado, moderado, bom e excelente (C. S. Ferreira 2015, Latif, et al. 2015). Esta classificação encontra-se apresentada na Fig. 18.

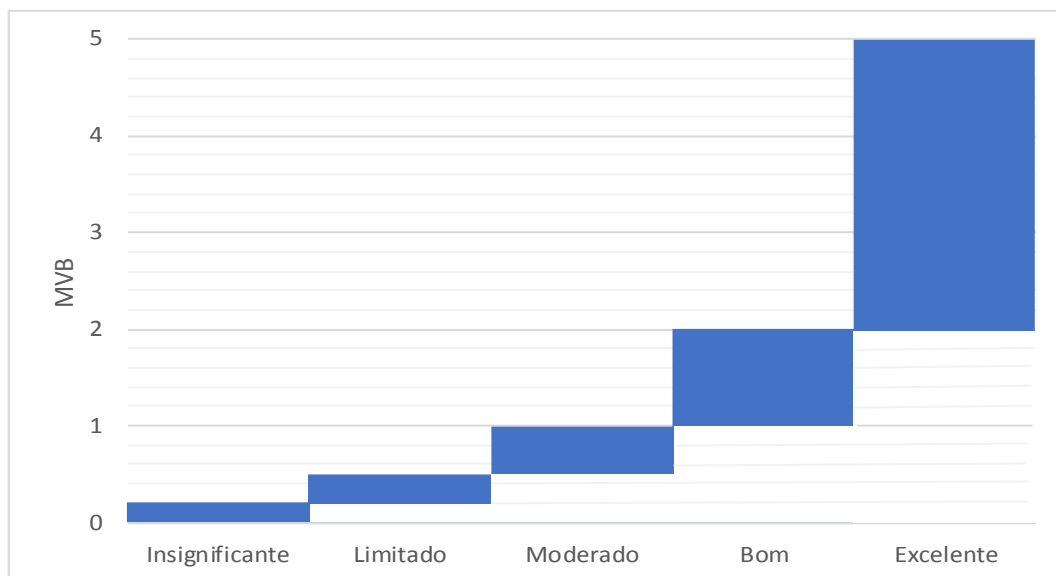


Fig. 18 - Classificação da capacidade de armazenamento de humidade de materiais de revestimento, segundo o MBV (C. S. Ferreira 2015)

O valor do MBV também é função da porosidade dos materiais, sendo que os materiais mais porosos registam valores de MBV superiores (C. S. Ferreira 2015).

4.6. VALORES DAS PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS DE MATERIAIS DE REVESTIMENTO INTERIOR E PINTURAS

Nos subcapítulos anteriores foram descritas as propriedades higroscópicas para caracterizar a troca de humidade, em fase vapor, dos materiais de revestimento e também de pinturas. Este subcapítulo tem como objetivo apresentar valores de propriedades higroscópicas de alguns materiais, de forma a criar uma base de dados reduzida. Os materiais apresentados correspondem aos mais tradicionais, alguns inovadores e alguns tipos de tintas. As propriedades higroscópicas apresentadas são: a curva higroscópica representada com os valores do teor de humidade para humidades relativas de 40%, 60% e 80%, bem como a diferença entre os teores de humidade correspondentes às humidades relativas de 80% e 40%, das curvas de adsorção dos vários materiais; a permeabilidade ao vapor de água para os materiais; a espessura da camada de ar de difusão equivalente (pinturas) e o MBV. Nessas tabelas é incluída também, para as propriedades higroscópicas apresentadas, uma classificação relativa de 0% a 100%, que permite avaliar os materiais e pinturas quanto ao seu potencial higroscópico, potencial de difusão e capacidade de armazenamento. Estes potenciais foram definidos pela orientação do respetivo trabalho. Na Tabela 9 são apresentados os materiais de revestimento interior e na Tabela 10 são apresentados alguns esquemas de pinturas. Os materiais assinalados a cor laranja são os utilizados na avaliação experimental que será objeto de estudo no Capítulo 5.

Tabela 9 – Valores das propriedades higroscópicas de materiais de revestimento e respectivas classificações

Material	Curva higroscópica u (Kg/Kgx100)				Permeabilidade ao vapor de água [Kg/(m.s.Pa)]x10 ⁻¹²			MBV [g/(m².%HR)]		Referência
	40	60	80	Δ 40-80	Potencial Higroscópico 0-100%	δ _{p,seca}	δ _{p,húmida}	Potencial de difusão 0-100%	Valor	
Argamassa à base de cal γ = 1800Kg/m³	0.55	0.86	1.38	0.83	10.8	17		9.5		(Freitas e Pinto 1998, Hansen 1986)
	0.48	0.71	1.20	0.72	9.2	5.3		2.7		(Freitas e Pinto 1998, Hansen 1986)
Argamassa à base de cimento	1.15	1.67	2.69	1.54	20.6	8.3		4.5		(Freitas e Pinto 1998, Hansen 1986)
Reboco de gesso e cal	0.27	0.36	0.50	0.23	2.5	27	34	19.4	0.47	(Ramos 2007)
Reboco projetado de celulose (RPC)	3.3	5.6	9.6	6.3	86.2	34.4	87.3	50.3	1.81	(Ferreira 2015)
Contraplacado	8.9	11.5	16.0	7.1	97.2	1.09	5.09	2.6		(Building Science Corporation 2015, Hansen 1986)
Gesso projetado	0.10	0.18	0.28	0.18	1.8	19	28	15.9	0.72	(Ramos 2007)
Granito	0.08	0.09	0.13	0.05	0	0.62		0		(Azevedo 2011)

Tabela 9 – Valores das propriedades higroscópicas de materiais de revestimento e respectivas classificações

Material	Curva higroscópica u (Kg/Kgx100)				Permeabilidade ao vapor de água [Kg/(m.s.Pa)]x10 ⁻¹²			MBV [g/(m².%HR)]		Referência	
	40	60	80	Δ 40-80	Potencial Higroscópico 0-100%	δ _{p,seca}	δ _{p,húmida}	Potencial de difusão 0-100%	Valor		Capacidade de armazenamento 0-100%
Painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais (PFMLM)	2.3	4.0	7.5	5.2	71.0	59.0	173	100	2.21	97.8	(Ferreira 2015)
Painéis à base de fibras de madeira aglomeradas com cimento branco (PFMCB)	2.1	2.9	4.9	2.8	37.9	41.3	137	79.1	2.25	100	(Ferreira 2015)
Placas de gesso cartonado	0.46	0.73	1.16	0.70	9.0	20	32	18.2	0.75	15.7	(Ramos 2007)
Madeira carvalho	6.8	10.4	14.1	7.3	100	4.6		2.3			(Freitas e Pinto 1998)
Pedra calcária	0.09	0.11	0.22	0.13	1.1	5.8		3.0			(Azevedo 2011, Freitas e Pinto 1998)

Tabela 10 – Valores das propriedades higroscópicas de pinturas e respectivas classificações

Material	Espessura da camada de difusão equivalente			MBV [g/(m².%HR)]		Referência
	Sd, tinta seca [m]	Sd, tinta húmida [m]	Potencial de difusão 0-100%	Valor (camada+material)	Capacidade de armazenamento 0-100%	
Tinta vinílica aplicada sobre gesso cartonado	0,09	0,05	10,8	0,64	72,9	(Ramos 2007)
Primário e tinta vinílica aplicada sobre gesso cartonado	0,63	0,21	93,8	0,30	2,1	(Ramos 2007)
Tinta acrílica aplicada sobre gesso cartonado	0,02	0,004	0	0,77	100	(Ramos 2007)
Primário e tinta acrílica aplicada sobre gesso cartonado	0,67	0,22	100	0,31	4,2	(Ramos 2007)
Tinta vinílica aplicada sobre gesso projetado	0,15	0,05	20	0,64	72,9	(Ramos 2007)
Primário e tinta vinílica aplicada sobre gesso projetado	0,53	0,13	78,5	0,47	37,5	(Ramos 2007)
Tinta acrílica aplicada sobre gesso projetado	0,13	0	16,9	0,70	85,4	(Ramos 2007)

Tabela 10 – Valores das propriedades higroscópicas de pinturas e respectivas classificações

Material	Espessura da camada de difusão equivalente		Potencial de difusão 0-100%	MBV [g/(m².%HR)]		Referência
	S _{d, tinta seca} [m]	S _{d, tinta húmida} [m]		Valor (camada+material)	Capacidade de armazenamento 0-100%	
Primário e tinta acrílica aplicada sobre gesso projetado	0,39	0,14	56,9	0,51	45,8	(Ramos 2007)
Tinta vinílica aplicada sobre de reboco de gesso e cal	0,18	0,05	24,6	0,39	20,8	(Ramos 2007)
Primário e tinta vinílica aplicada sobre reboco de gesso e cal	0,30	0,08	43,1	0,29	0	(Ramos 2007)
Tinta acrílica aplicada sobre reboco de gesso e cal	0,09	0,03	10,8	0,43	29,2	(Ramos 2007)
Primário e tinta acrílica aplicada sobre reboco de gesso e cal	0,37	0,13	53,8	0,30	2,1	(Ramos 2007)

4.7. SÍNTESE DO CAPÍTULO 4

O controlo da humidade relativa interior em museus é necessário para garantir ambientes internos mais saudáveis e evitar a deterioração dos objetos museológicos (Gómez-Arriaran, et al. 2011, Woods, Winkler e Christensen 2013). Esta preocupação assume um papel mais importante quando se trata de museus onde existem materiais e objetos sensíveis às variações de humidade e onde a preservação e a conservação são aspetos fundamentais. Atualmente, a implementação de soluções estratégicas com sistemas passivos assume um papel importante para garantir condições higrotérmicas interiores adequadas. A adoção destes sistemas passivos, face aos sistemas ativos, é vantajosa, uma vez que os custos são mais baixos e os critérios de sustentabilidade estão garantidos. O estudo das características e das propriedades higroscópicas dos materiais de revestimento interior e pinturas apresentam especial importância, pois é indispensável para a quantificação do desempenho (Gómez-Arriaran, et al. 2011).

Neste capítulo foram descritas propriedades higroscópicas, tais como: a curva higroscópica, a permeabilidade ao vapor de água para materiais, a espessura da camada de ar de difusão equivalente (pinturas) e o MBV. Todas estas propriedades permitem caracterizar a troca de humidade, em fase vapor, dos materiais de revestimento e também de pinturas. No entanto, existe uma propriedade global, determinada experimentalmente, que indica diretamente a quantidade de humidade (vapor) transportada de ou para um material e para o ambiente. Esta propriedade higroscópica designa-se *Moisture Buffer Value* – MBV.

De modo a avaliar a informação disponível das características dos materiais de revestimento e pinturas, criaram-se duas tabelas com valores de propriedades higroscópicas: uma para materiais, desde os mais comuns a inovadores e outra para pinturas. Também nestas tabelas apresentam-se, para todas as propriedades higroscópicas referidas, as respetivas classificações relativas de 0% a 100%, consoante o seu desempenho a nível higroscópico. As propriedades higroscópicas apresentadas são: curva higroscópica, permeabilidade ao vapor de água (materiais de revestimento), espessura da camada de difusão equivalente (pinturas) e o MBV. À curva higroscópica corresponde o potencial higroscópico, à permeabilidade ao vapor de água e espessura da camada de ar de difusão equivalente corresponde o potencial de difusão e ao MBV corresponde a capacidade de armazenamento. O material de revestimento com melhor potencial higroscópico é a madeira de carvalho, seguido do contraplacado com 97.2% e o pior é o granito. Quanto ao potencial de difusão, o material de revestimento com a classificação máxima são os PFMLM e com a pior classificação é o granito. Os PFMCB têm capacidade de armazenamento avaliada em 100% e o reboco de gesso e cal a classificação de 0%. Os materiais de revestimento PFMLM e PFMCB receberam destaque nesta tabela, pois serão os materiais utilizados na avaliação experimental para a medição da variação das condições higrotérmicas, em modelo reduzido, nesta dissertação. Este assunto será abordado no Capítulo 5 com mais detalhe. No entanto, pode-se referir que entre os revestimentos PFMLM e PFMCB, os PFMLM apresentam melhor potencial higroscópico e melhor potencial de difusão, enquanto que os PFMCB apresentam melhor capacidade de armazenamento. Em relação às pinturas, a que possui melhor potencial de difusão é o primário e tinta acrílica aplicada sobre gesso cartonado e a pior é a tinta acrílica aplicada sobre gesso cartonado. Quanto à capacidade de armazenamento, a tinta acrílica aplicada sobre gesso cartonado apresenta a melhor classificação e o primário e tinta vinílica aplicada sobre reboco de gesso e cal é a que possui pior desempenho em termos de capacidade de armazenamento. De referir que o valor do MBV do gesso cartonado aumenta com a aplicação de tinta acrílica e diminui com a aplicação de tinta vinílica, com ou sem primário e com primário e tinta acrílica. O gesso projetado e o reboco de gesso e cal obtêm valores de MBV mais baixos quando se aplicam tintas acrílicas e vinílicas, com ou sem primário, ou seja, para estes materiais estas pinturas são um fator prejudicial em termos de MBV.

Com os valores apresentados das propriedades higroscópicas, criou-se uma base de dados reduzida para materiais e pinturas.

A quantificação do desempenho higroscópico dos materiais em relação às propriedades higroscópicas é importante para, aquando da avaliação experimental das variações higrotérmicas de um material, já se saber quais os seus potenciais.

Como o próprio nome indica, o objetivo desta dissertação é a caracterização experimental da influência de revestimentos higroscópicos na estabilização da humidade relativa, pelo que, o Capítulo 5 se baseia na descrição e na apresentação/discussão dos resultados experimentais obtidos (condições higrotérmicas) na câmara de fluxos, com um modelo reduzido, em que se procedeu à implementação dos materiais de revestimento PFMLM e PFMCB.

5

MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EM FUNÇÃO DE MATERIAIS DE REVESTIMENTO

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Esta dissertação tem como objetivo principal a avaliação experimental da influência de revestimentos higroscópicos na estabilização da humidade relativa. Deste modo, esta dissertação é experimental, realizada em ambiente laboratorial.

A quantificação da influência dos materiais higroscópicos de revestimento no comportamento higrotérmico é fundamental quando se pretende garantir a preservação e a conservação dos materiais e objetos museológicos. Estes aspetos ganham mais importância quando se tratam de museus instalados em edifícios antigos, onde é fundamental a conservação dos acervos museológicos de grande valor cultural e histórico, impedindo a sua degradação.

A avaliação experimental será realizada com o recurso a uma câmara de fluxos, inserida no interior de uma câmara climática, existente no Laboratório de Física de Construções que procura reproduzir à escala reduzida um determinado compartimento de um museu ou uma vitrina à escala real. Esta câmara de fluxos encontra-se dotada de um sistema de produção de vapor, de um sistema de ventilação, de uma abertura que permite introduzir e retirar materiais de revestimento e de um sistema de monitorização.

Ao longo dos anos, as vitrinas têm sido utilizadas para a conservação, proteção e minimização da deterioração de acervos museológicos. As vitrinas também são úteis para proteção contra roubo, vandalismo e outros riscos oferecidos pelos visitantes. Os objetos e materiais colocados no interior destas caixas ficam protegidos contra as variações do clima, poluição química e ação dos microrganismos. Deste modo, as vitrinas podem ser utilizadas como um sistema passivo no controlo da humidade relativa interior (Ferreira, Freitas e Ramos 2015).

5.2. INFRAESTRUTURA DE ENSAIO UTILIZADA

A infraestrutura laboratorial utilizada para a avaliação das condições higrotérmicas, no modelo reduzido, em função de materiais de revestimento encontra-se disponível no Laboratório de Física das Construções – LFC. Esta infraestrutura laboratorial foi desenvolvida por Ramos e Freitas e é caracterizada como inovadora e decisiva para o estudo da inércia higroscópica. Esta inovação deve-se ao nível de controlo

dos parâmetros de teste, à facilidade de modificação da configuração do ensaio e à possibilidade de repetição ilimitada (Ramos 2007).

A infraestrutura laboratorial é constituída por uma câmara de fluxos (CF) que se encontra instalada no interior de uma câmara climática (CC). Esta infraestrutura está equipada com um sistema de monitorização constituído por cinco sondas de temperatura e humidade relativa (S2, S3, S4, S5 e S6). A sonda S2 encontra-se instalada no lado exterior da câmara de fluxos mas no interior da câmara climática, enquanto as outras sondas S3, S4, S5 e S6 encontram-se no interior da câmara de fluxos (Fig.19).

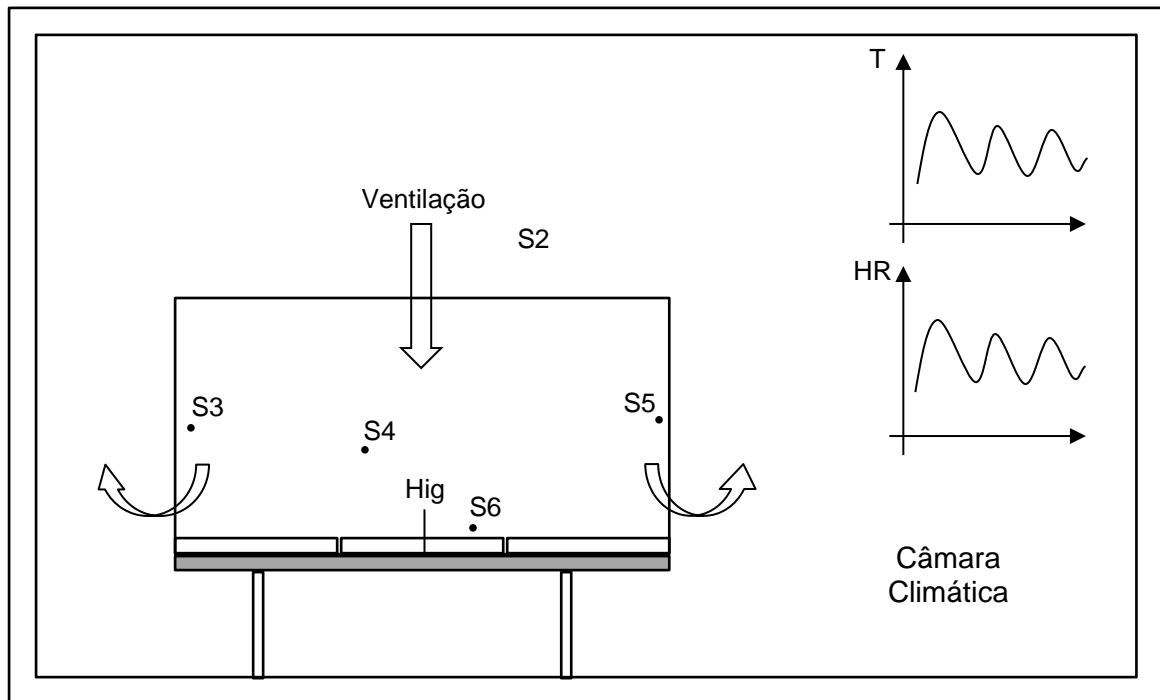


Fig. 19 - Esquema do equipamento utilizado (Adaptado de: Ramos 2007)

A câmara de fluxos está dotada de um sistema de produção de vapor que não foi utilizado nesta avaliação e de um sistema de ventilação que permite seleccionar o número de renovações horárias entre 0.26h^{-1} e 17h^{-1} (Ramos 2007).

As condições higrotérmicas (temperatura e humidade relativa) foram monitorizadas de 10 em 10 minutos.

5.2.1. CÂMARA CLIMÁTICA

A câmara climática na qual se insere o modelo reduzido é uma Fitoclima 3600 EDTU, tipo “walk-in”, que se encontra disponível no Laboratório de Física das Construções - LFC da FEUP. Esta câmara permite o controlo da temperatura entre os $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, com uma precisão de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o controlo da humidade relativa no intervalo entre os 30% e os 90%, com uma precisão de $\pm 0.2\%$ (C. S. Ferreira 2015). A variação das condições higrotérmicas é definida por um programador eletrónico com um painel de controlo tátil, apresentado na Fig. 20 (C. S. Ferreira 2015, Ramos 2007).



Fig. 20 - Painel de controlo programável

Durante os ensaios, os valores registados pela câmara climática são transferidos para um computador onde podem ser visíveis na hora ou exportados para outros programas (Ramos 2007).

No interior da câmara climática encontra-se instalada a câmara de fluxos. Deste modo, é possível controlar as condições higrotérmicas de todo o conjunto, bem como as condições do ar introduzidas no interior da câmara de fluxos (Ramos 2007).

5.2.2. CÂMARA DE FLUXOS – MODELO REDUZIDO

A câmara de fluxos consiste numa caixa de acrílico com as seguintes dimensões: 1.50 m de comprimento, 0.524 m de largura e 0.584 m de altura, correspondendo a um volume de 0.459 m³. Estas dimensões resultam da sua adaptação à câmara climática (C. S. Ferreira 2015).

O sistema de ventilação é composto por um ventilador em que a ligação entre a câmara de fluxos e o ventilador é efetuado por uma mangueira em PVC. O ar entra naturalmente por um orifício que a câmara de fluxos possui na sua face superior. Para além da admissão natural através deste orifício, a admissão de ar na câmara resulta também da compensação imposta pelo caudal extraído pelo sistema de ventilação (C. S. Ferreira 2015).

O sistema de extração mecânica do ar interior da câmara de fluxos é constituído por um ventilador que se encontra ligado a dois tubos que são introduzidos no interior da câmara pela face superior. A existência de dois rotâmetros de precisões diferentes, permite controlar o caudal de ar, possibilitando a adoção de renovações horárias entre 0.26 h⁻¹ e 17h⁻¹. A ventilação nula é possível desligando o sistema de ventilação e tapando o orifício existente na face superior (C. S. Ferreira 2015).

Na Fig. 21 encontra-se representada a câmara de fluxos do LFC utilizada nos ensaios.



Fig. 21 - Pormenor da câmara de fluxos

Como já foi referido, o sistema de monitorização é constituído por cinco sondas de temperatura e humidade relativa, em que uma delas, a S2 se encontra fora da câmara de fluxos, de forma a avaliar o clima da câmara climática e em que as restantes quatro sondas (S3, S4, S5 e S6) se encontram no interior. De modo a perceber a diferença dos valores registados nas várias sondas, apresentam-se nas Fig. 22 e 23 a variação da temperatura e da humidade relativa, em oito dias de ensaios, de um ciclo de verão com caudal de ventilação de 5 l/min e renovações horárias de $0.65h^{-1}$.

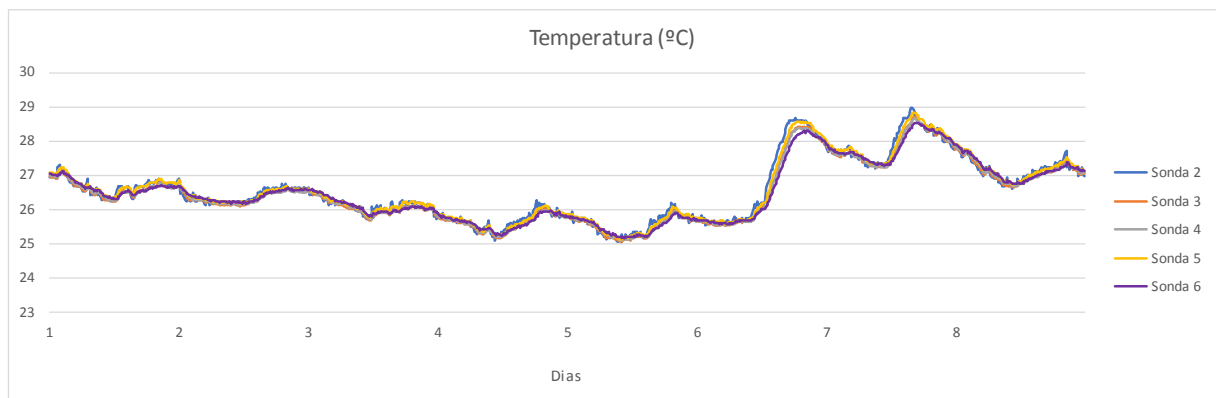


Fig. 22 – Variação da temperatura registada das várias sondas, em oito dias de um ciclo de verão

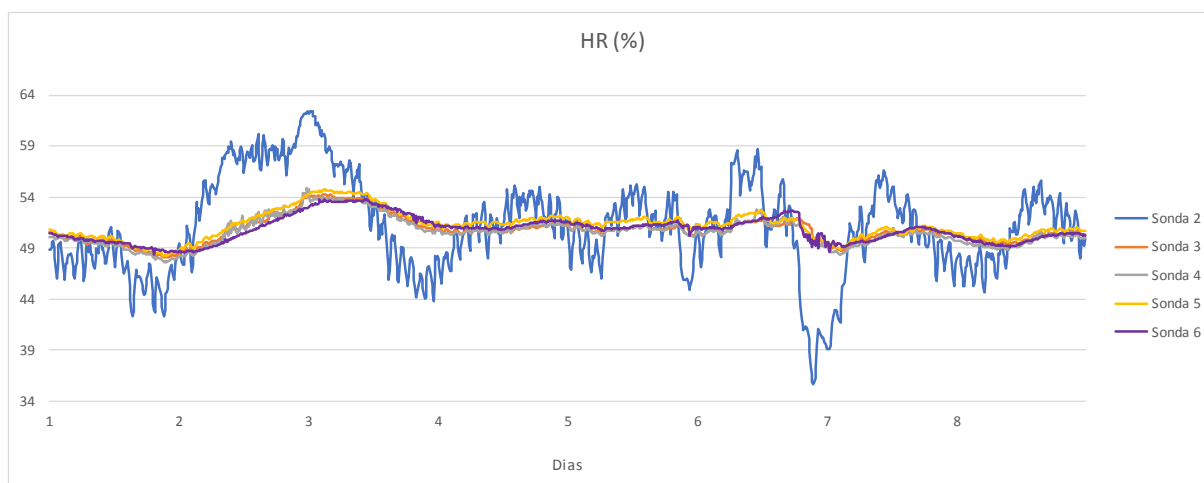


Fig. 23 - Variação da humidade relativa registada das várias sondas, em oito dias de um ciclo de verão

As temperaturas das várias sondas são praticamente coincidentes, ou seja, a temperatura do exterior e interior da câmara de fluxos são semelhantes. No caso da humidade relativa, a diferença de valores e flutuações registadas nas sondas interiores e exterior é bem visível. Enquanto que no interior da câmara a humidade relativa seja aproximadamente constante, no exterior existe grande variação e flutuações de humidade relativa. Isto deve-se ao emprego de materiais higroscópicos no interior da câmara de fluxos, reduzindo os picos de humidade relativa registados no exterior.

5.3. MATERIAIS ENSAIADOS

Neste estudo foram ensaiados dois materiais de revestimento: Painéis de Fibras de lã de Madeira de abeto revestidas por Ligantes Minerais – PFMLM e Painéis à base de Fibras de Madeira aglomeradas com Cimento Branco – PFMCB. A escolha destes materiais deve-se ao facto de possuírem ambos um comportamento higroscópico (C. S. Ferreira 2015).

Os PFMLM são constituídos por 65% de fibras longas e resistentes de madeira de abeto e 35% de ligantes minerais, nomeadamente cimento de Portland e pó de mármore (Ecoplace, Lda 2015). Na Fig. 24 apresenta-se o aspeto de um PFMLM e na Fig. 25 estão representados alguns exemplos da utilização destes materiais como revestimento interior.



Fig. 24 - Aspeto de um PFMLM (Lusomatec s.d.)



Fig. 25 - Aplicações dos revestimentos PFMLM (Lusomatec s.d.)

Os PFMCB são painéis compostos por fibras de madeira com 1.5 mm de diâmetro, aglomeradas com cimento branco (C. S. Ferreira 2015). Os PFMCB podem ser utilizados como revestimento em parques, sótãos, coberturas, construções em madeira e outros locais (Knauf Insulation 2011). Na Fig. 26 pode ser observado o aspeto de um PFMCB e na Fig. 27 apresentam-se alguns exemplos da aplicação deste revestimento.



Fig. 26 - Aspeto de um PFMCB (Heraklith 2013)

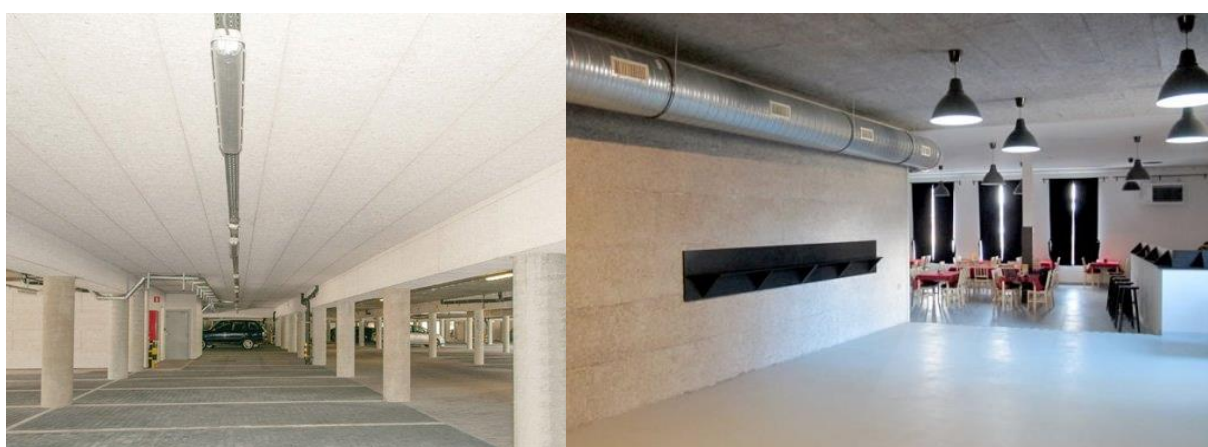


Fig. 27 - Aplicações dos revestimentos PFMCB (Heraklith 2017)

Na tabela 9 do Capítulo 4 identificaram-se com cor laranja as propriedades higroscópicas destes dois materiais de revestimento interior (PFMLM e PFMCB). Em comparação com os outros materiais, estes são os que apresentam melhores classificações do ponto de vista higrotérmico no conjunto das propriedades apresentadas. Nas Fig. 28 e 29 define-se a classificação relativa destes dois revestimentos para cada uma das propriedades higroscópicas. De acordo com o valor do MBV, os materiais PFMLM e PFMCB podem ser classificados quanto à sua capacidade de armazenamento de humidade como: insignificantes, limitados, moderados, bons e excelentes. Esta classificação foi abordada no subcapítulo 4.5. Tanto os PFMLM como os PFMCB são excelentes, pois apresentam valores de MBV de 2.25 e 2.21, respetivamente.

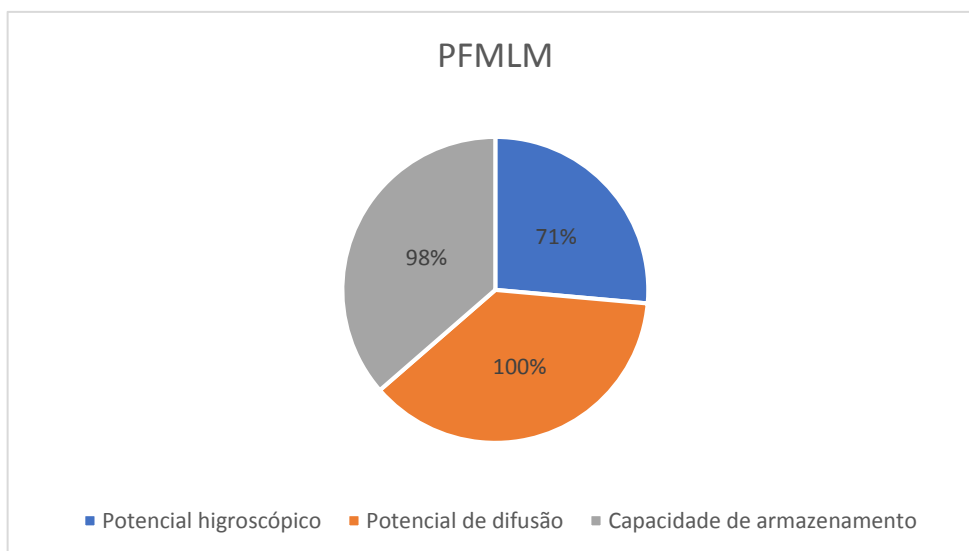


Fig. 28 – Potencial do revestimento PFMLM

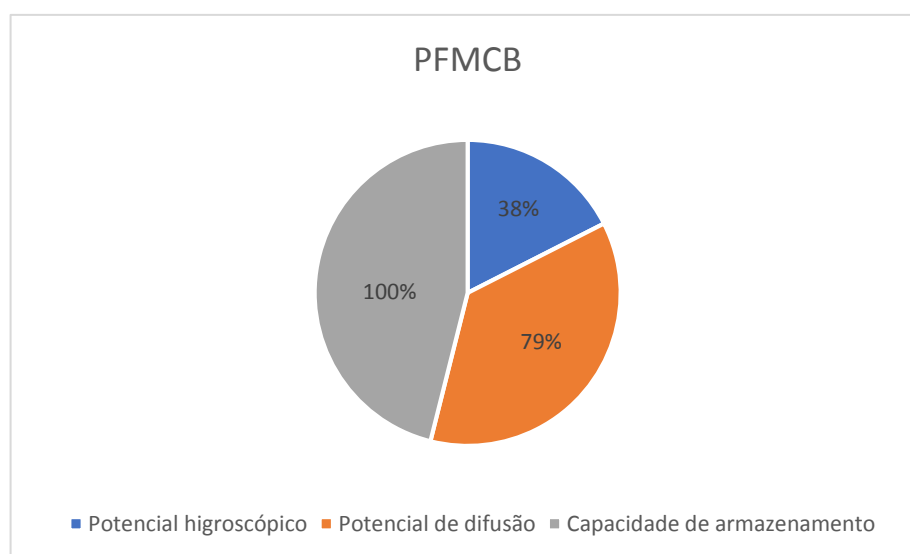


Fig. 29 – Potencial do revestimento PFMCB

Analisando as Fig. 28 e 29 conclui-se que o PFMLM possui melhores potenciais higroscópico e de difusão e menor capacidade de armazenamento, quando comparado com o revestimento PFMCB, tendo um bom comportamento em todas as propriedades higroscópicas analisadas. Quanto ao PFMCB a diferença de classificações é mais evidente, uma vez que o seu potencial higroscópico é muito reduzido, comparando com o potencial de difusão e a sua excelente capacidade de armazenamento. Esta informação é interessante, uma vez que reflete os potenciais dos revestimentos em termos de desempenho higroscópico.

5.4. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Anteriormente, foi referido que nesta dissertação procedeu-se à medição da variação das condições higrotérmicas, no modelo reduzido, para dois materiais de revestimento: PFMLM e PFMCB.

Neste subcapítulo irão ser analisados os resultados experimentais das configurações ensaiadas destes materiais: configuração I e configuração II.

5.4.1. CONDIÇÕES DE ENSAIO

Para esta dissertação, a medição da variação das condições higrotérmicas, no modelo reduzido, foi efetuada para duas configurações: configuração I e configuração II. A configuração I consiste na medição da variação das condições higrotérmicas apenas com a utilização de PFMCB na face inferior da câmara de fluxos. Na configuração II é estudada a variação da temperatura e humidade relativa com a introdução de dois tipos de materiais de revestimento no interior da câmara de fluxos: PFMLM, ocupando uma das superfícies laterais e PFMCB exposto na face inferior. Nas duas configurações foram estudados dois ciclos: um ciclo de inverno e um ciclo de verão e cada ciclo semanal foi repetido três vezes. O ciclo de inverno é representado com 7 dias, enquanto que o ciclo de verão é de 8 dias. Esta diferença deve-se ao facto de se pretender que as condições higrotérmicas no início dos ciclos sejam semelhantes às do final dos ciclos. Como nas três repetições de cada ciclo se registaram valores semelhantes, neste capítulo só irão ser apresentados os valores da terceira repetição de cada ciclo, encontrando-se em anexo os outros valores.

As semanas avaliadas são representativas de uma galeria de exposição real dotada de um sistema de controlo do clima interior, sobre o qual se desconhece os intervalos de temperatura e humidade relativa de atuação.

O caudal de ar do sistema de ventilação utilizado foi 5 l/min, que corresponde a 0.3 m³/min, o que resulta em renovações horárias de 0.65h⁻¹.

As sondas registaram valores de temperatura e de humidade relativa de 10 em 10 minutos.

Procedeu-se ao cálculo da média dos valores das sondas no interior, traduzindo os gráficos essa média, que são comparadas com os valores da sonda localizada no exterior da câmara de fluxos.

5.4.2. CONFIGURAÇÃO I

Nesta configuração, a medição das condições higrotérmicas foi realizada apenas com a presença de PFMCB no interior da câmara de fluxos.

Foram utilizadas duas semanas tipo representativas do clima exterior: inverno e verão.

O ciclo de inverno está representado nas Fig. 30 e 31 com os gráficos da variação da temperatura e da humidade relativa registadas no interior e exterior da câmara de fluxos. A Tabela 11 apresenta os parâmetros estatísticos calculados para estas variações de temperatura e de humidade relativa.

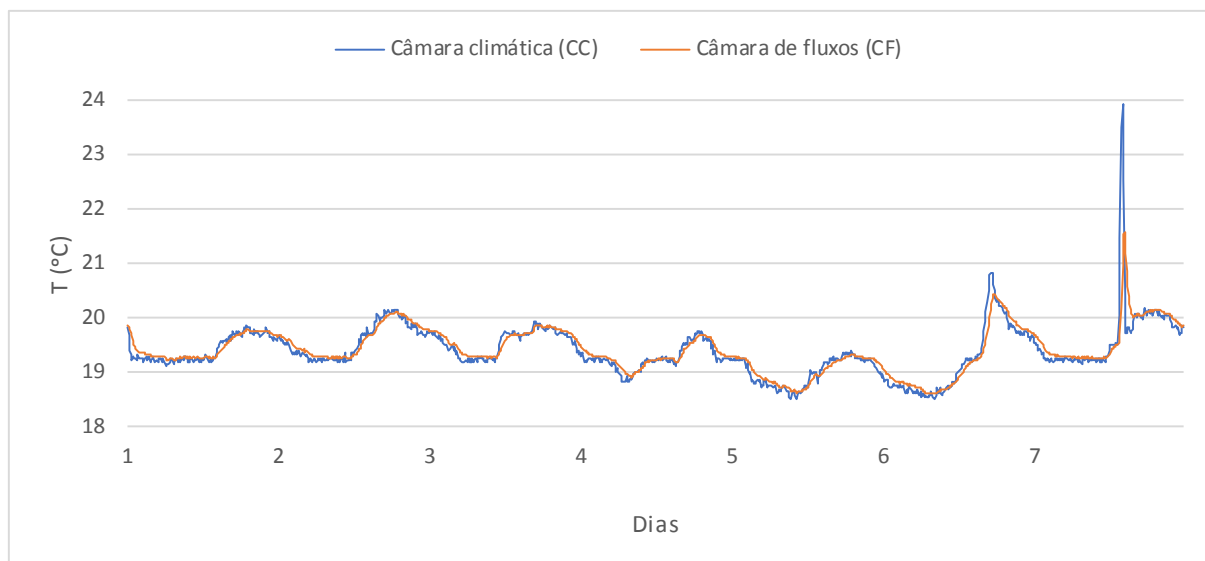


Fig. 30 – Variação da T do ciclo de inverno da configuração I

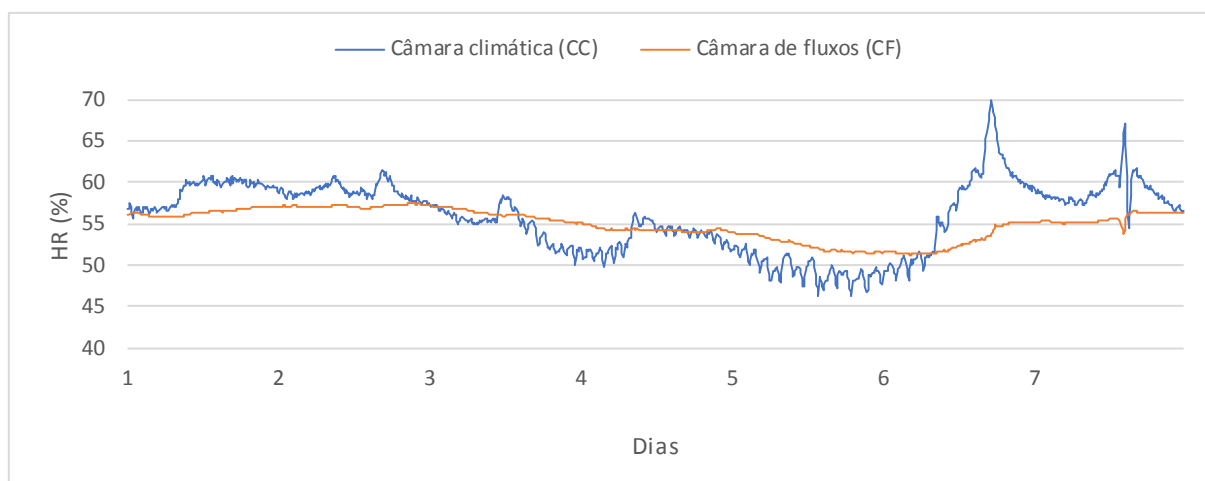


Fig. 31– Variação da HR do ciclo de inverno da configuração I

Tabela 11 - Parâmetros estatísticos calculados da CC e da CF do ciclo de inverno da configuração I

	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	CC	CF	CC	CF
Mínimo	18,5	18,6	46	51
Média	19,4	19,4	56	55
Máximo	23,9	21,6	70	57
Δ=Máximo-Mínimo	5,5	3,0	24	6
Desvio Padrão	0,5	0,4	4	2

Pela análise das Fig. 30 e 31 e da Tabela 11 é possível verificar que apesar dos valores da temperatura da CC e da CF estarem muito próximos, os da humidade relativa apresentam uma diferença maior. O facto de as temperaturas serem próximas justifica-se pela transferência de calor através de meios sólidos, como é o caso das superfícies de acrílico. No entanto, não há transferência de vapor de água pelos meios sólidos, por isso é que existe alguma diferença. Verifica-se também o benefício da utilização do material higroscópico PFMCB na redução dos picos de humidade relativa, que conduz a valores da humidade relativa interior sem grandes flutuações. Estas conclusões são demonstradas pelos parâmetros estatísticos presentes na Tabela 11: $\Delta HR_{CC} = 24\%$ e $\Delta HR_{CF} = 6\%$.

Os registos obtidos para a configuração I quando submetidos ao ciclo de verão encontram-se representados nos gráficos de temperatura e de humidade relativa das Fig. 32 e 33, respetivamente e nos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 12.

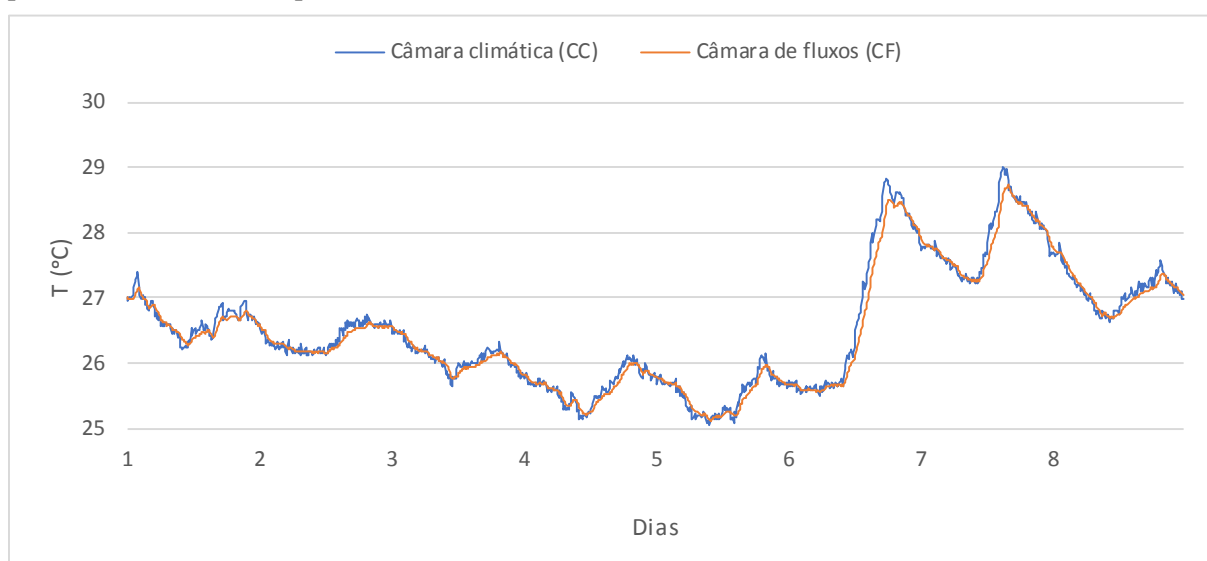


Fig. 32 – Variação da T do ciclo de verão da configuração I

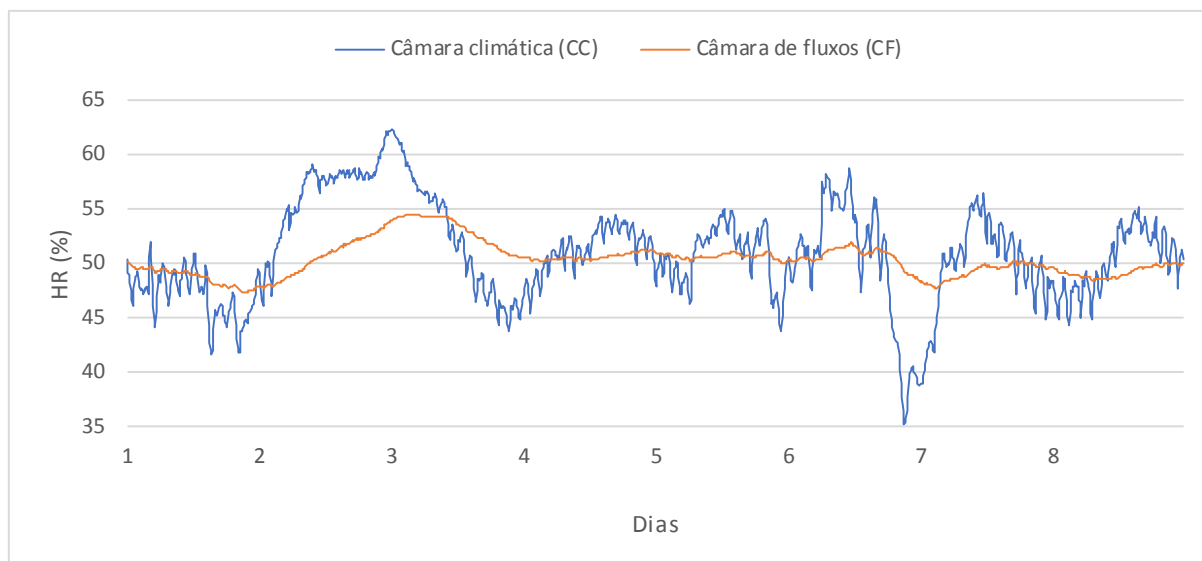


Fig. 33 – Variação da HR do ciclo de verão da configuração I

Tabela 12 - Parâmetros estatísticos da CC e da CF do ciclo de verão da configuração I

	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	CC	CF	CC	CF
Mínimo	25,1	25,1	35	47
Média	26,5	26,5	51	50
Máximo	29,0	28,7	62	54
Δ=Máximo-Mínimo	4,0	3,6	27	7
Desvio Padrão	0,9	0,9	5	2

De forma análoga ao sucedido no ciclo de inverno, também no ciclo de verão, a maior diferença entre os valores da CC e da CF revela-se nos valores obtidos da humidade relativa. Verifica-se, novamente que a introdução do revestimento higroscópico PFMCB no interior da câmara de fluxos contribui benéficamente para o controlo da humidade relativa interior. Isto é comprovado pela diferença entre os máximos e os mínimos de humidade relativa do exterior e do interior calculada e apresentada na Tabela 12: $\Delta HR_{CC} = 27\%$ e $\Delta HR_{CF} = 7\%$.

A variação das condições higrotérmicas interiores também é influenciada pelo caudal de ventilação, que neste caso é alto para o volume da CF utilizada.

Ao replicar o ciclo de inverno (7 dias) para todas as semanas da estação de aquecimento (de 22 de setembro a 20 de março) e o ciclo de verão (8 dias) para todo o período da estação de arrefecimento (21 de março a 21 de setembro) obtêm-se os gráficos das Fig. 34 e 35.

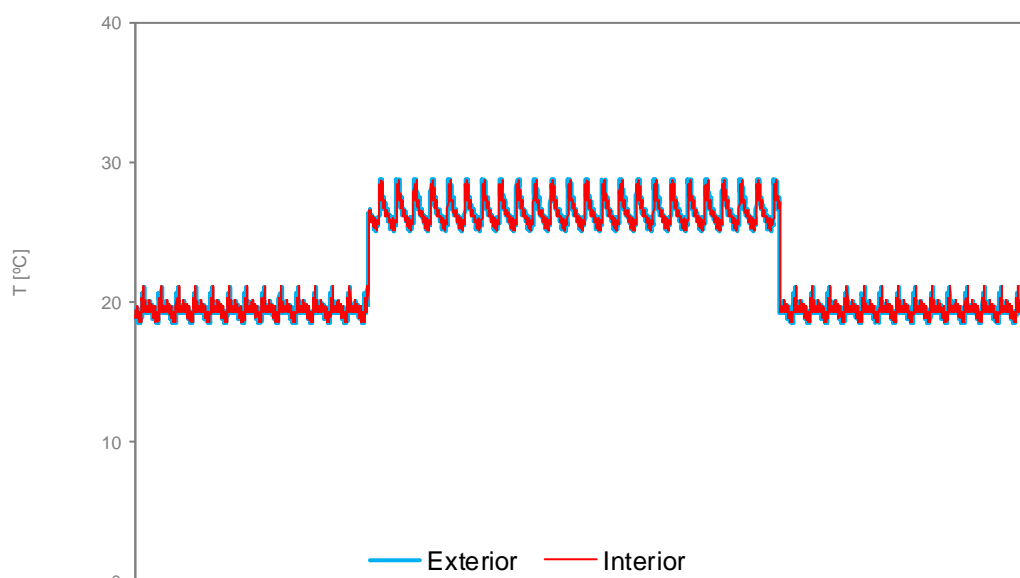


Fig. 34 – Variação da T média horária, num ano – Configuração I

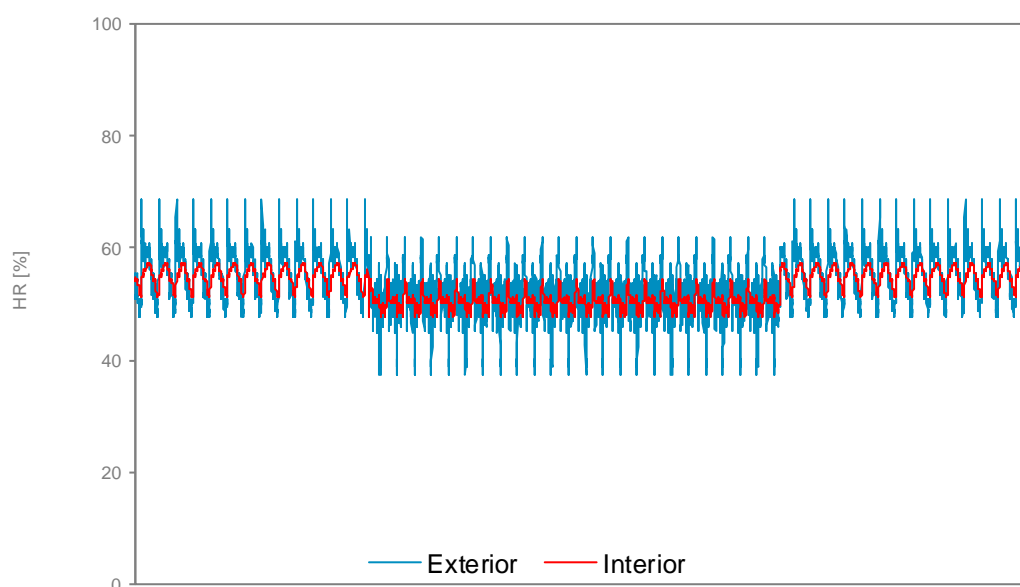


Fig. 35 – Variação da HR média horária, num ano – Configuração I

Pela análise dos gráficos das Fig. 34 e 35 verificam-se duas transições, tanto na temperatura como na humidade relativa, na passagem do ciclo de inverno para o ciclo de verão e do ciclo de verão para o ciclo de inverno. Estas transições devem-se ao facto de apenas se ter considerado uma semana tipo de inverno e uma semana tipo de verão.

5.4.3. CONFIGURAÇÃO II

Como foi já referido, a configuração II corresponde à introdução dos dois materiais de revestimento em conjunto (PFMLM e PFMCB) no interior da câmara de fluxos, mantendo-se o caudal de ventilação de 0.65h^{-1} . O objetivo desta configuração é analisar qual a influência do dobro da área de material higroscópico, quando comparado com a configuração I, na estabilização da humidade relativa interior da CF.

Nas Fig. 36 e 37 apresenta-se a variação da temperatura e a variação da humidade relativa no interior da CF quando se introduz o clima do ciclo de inverno na CC envolvente. De forma a complementar a análise das Fig. 36 e 37, apresenta-se na Tabela 13 os parâmetros estatísticos calculados das respetivas condições higrotérmicas.

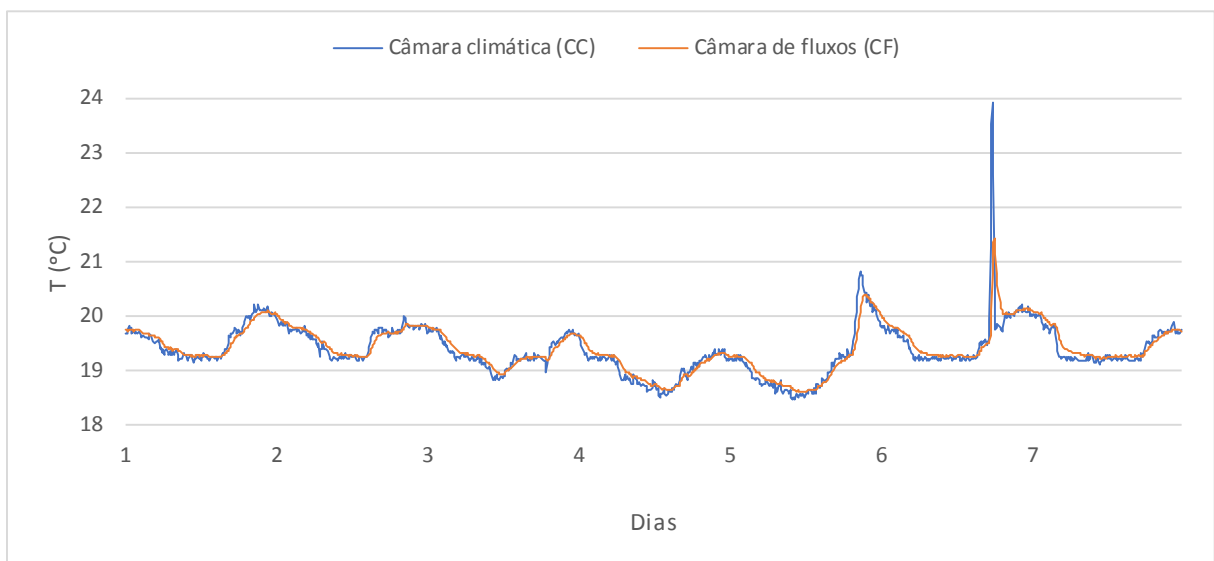


Fig. 36 – Variação da T do ciclo de inverno da configuração II

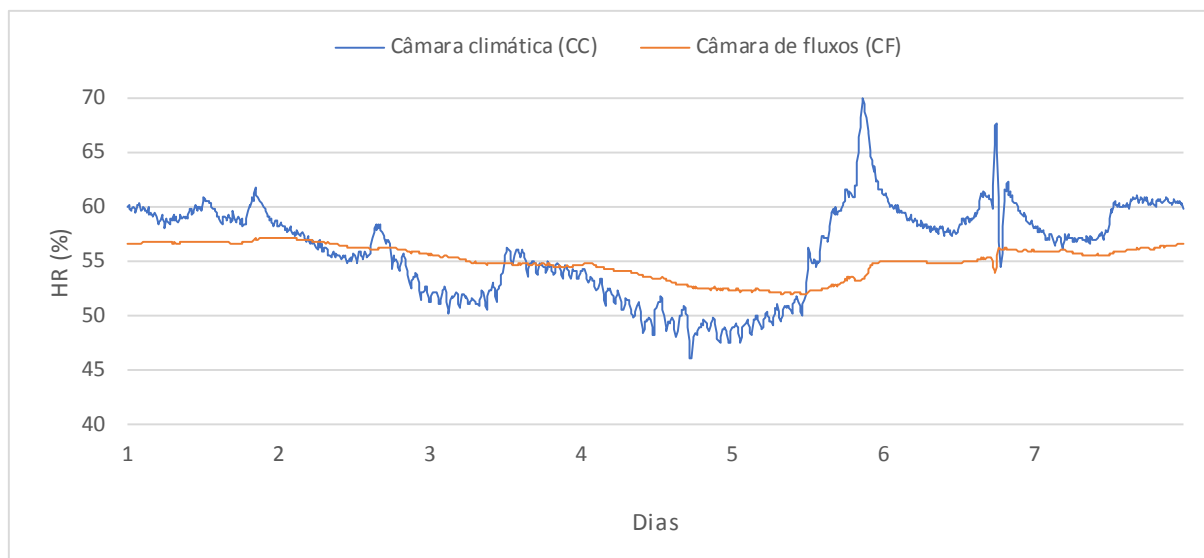


Fig. 37 – Variação da HR do ciclo de inverno da configuração II

Tabela 13 – Parâmetros estatísticos da variação de T e HR da CC e da CF do ciclo de inverno da configuração II

	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	CC	CF	CC	CF
Mínimo	18,5	18,6	46	52
Média	19,4	19,4	56	55
Máximo	23,9	21,4	70	57
Δ=Máximo - Mínimo	5,5	2,8	24	5
Desvio Padrão	0,5	0,4	4	2

De modo semelhante ao que se observou na configuração I, é na variação da humidade relativa que se encontram as maiores diferenças. A maior variação da HR na CC (exterior) é de 24% enquanto que a maior variação da HR na CF (interior) é de 5%. A variação das condições higrotérmicas interiores também é influenciada pela ventilação, que neste caso é de $0.65h^{-1}$ que é um valor elevado para o volume da CF utilizada.

As variações da temperatura e da humidade relativa obtidas na CC e na CF no decorrer do ciclo de verão são apresentadas nos gráficos das Fig. 38 e 39 e os respetivos parâmetros estatísticos estão presentes na Tabela 14.

Refira-se que o caudal de ventilação imposto à CF para este ciclo de verão é, à semelhança do considerado para o ciclo de inverno, de $0.65h^{-1}$.

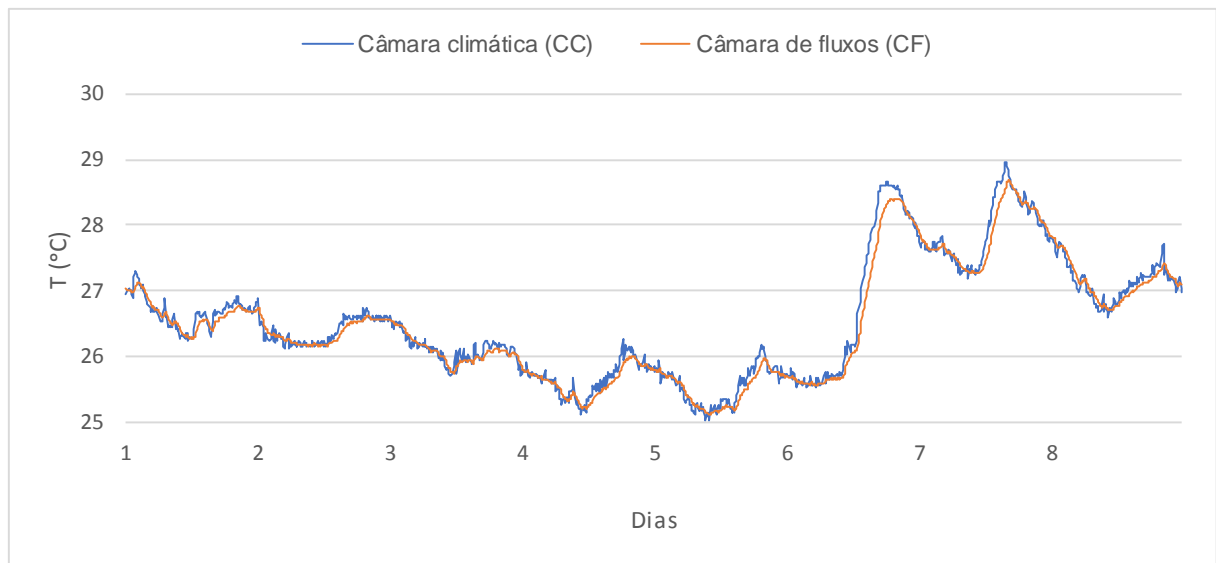


Fig. 38 – Variação da T do ciclo de verão da configuração II

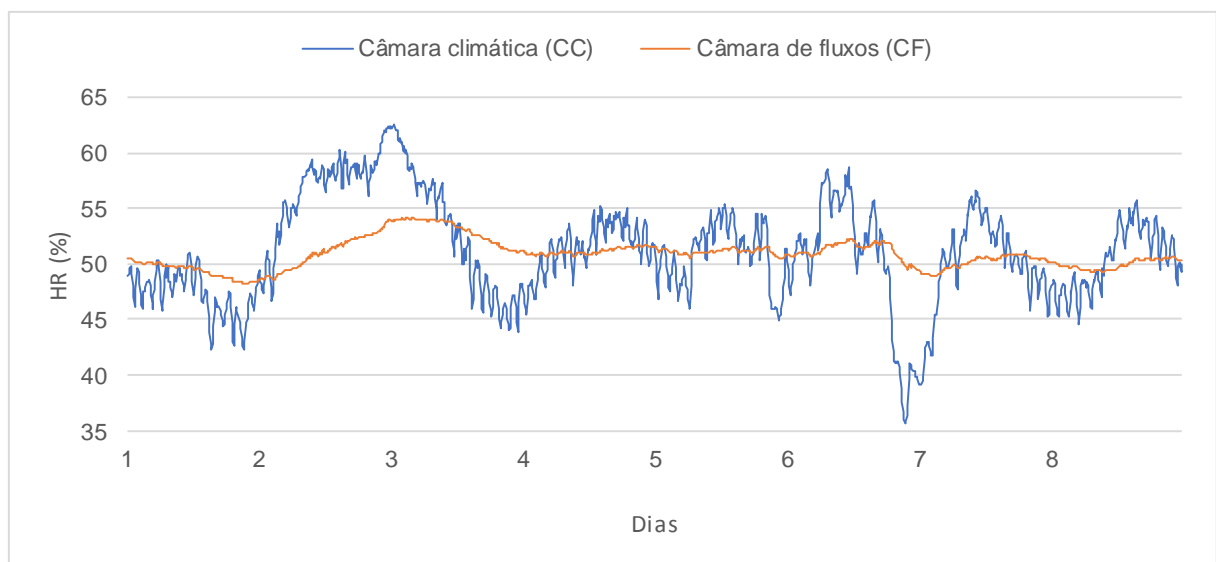


Fig. 39 – Variação da HR do ciclo de verão da configuração II

Tabela 14 – Parâmetros estatísticos da CC e da CF do ciclo de verão da configuração II

	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	CC	CF	CC	CF
Mínimo	25,0	25,1	36	48
Média	26,5	26,5	51	51
Máximo	29,0	28,7	62	54
Δ=Máximo-Mínimo	3,9	3,6	27	6
Desvio Padrão	0,9	0,9	5	1

A temperatura, tal como acontece nos ciclos analisados anteriormente, apresenta valores muito semelhantes entre o exterior (CC) e o interior (CF). A maior variação reside na variação da humidade relativa. A humidade relativa interior apresenta um intervalo de variação mais reduzido quando comparado com o intervalo de variação da humidade relativa exterior. Esta diferença é visível quer nos gráficos das Fig. 38 e 39 bem como nos parâmetros estatísticos calculados e apresentados na Tabela 14: $\Delta HR_{CC} = 27\%$ e $\Delta HR_{CF} = 6\%$. Esta diferença deve-se ao facto de se terem introduzidos na câmara de fluxos os dois materiais higroscópicos de revestimento: PFMCB e PFMLM.

As diferenças dos parâmetros estatísticos do interior da câmara de fluxos entre as configurações I e II do ciclo de inverno e de verão estão apresentadas nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 - Parâmetros estatísticos das condições higrotérmicas da CF das configurações I e II - ciclo de inverno

	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	Configuração I	Configuração II	Configuração I	Configuração II
Mínimo	18,6	18,6	51	52
Média	19,4	19,4	55	55
Máximo	21,6	21,4	57	57
Δ=Máximo-Mínimo	3,0	2,8	6	5
Desvio Padrão	0,4	0,4	2	2

Tabela 16 - Parâmetros estatísticos das condições higrotérmicas da CF das configurações I e II - ciclo de verão

	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	Configuração I	Configuração II	Configuração I	Configuração II
Mínimo	25,1	25,1	47	48
Média	26,5	26,5	50	51
Máximo	28,7	28,7	54	54
Δ=Máximo-Mínimo	3,6	3,6	7	6
Desvio Padrão	0,9	0,9	2	1

Refira-se que, ao contrário do que seria esperado, as diferenças dos ΔHR obtidos para as duas configurações em ambos os ciclos são muito próximos: 6%/5% (inverno) e 7%/6% (verão) no entanto, de acordo com o estudo realizado por Cláudia Ferreira no âmbito da sua tese de doutoramento, conclui que o caudal de ventilação também influencia a variação das condições higrotérmicas interiores (C. S. Ferreira 2015). Em ambas as configurações e ciclos foi adotada uma ventilação de $0.65h^{-1}$ que é um valor elevado para o volume da CF utilizada. Assim, neste caso, é indiferente ter ou não o dobro do material de revestimento no interior da CF, pois o valor do ΔHR_{CC} nos dois casos são muito próximos.

Apesar de não se ter ensaiado com a câmara de fluxos vazia, deve-se salientar que mesmo neste estado, a câmara de fluxos possui inércia higroscópica.

5.5. CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA INTERIOR

Esta dissertação foca-se na variação das condições higrotérmicas no interior de museus instalados em edifícios antigos, onde é necessário um maior controlo de humidade relativa e da temperatura interiores de forma a que seja garantida a preservação do acervo museológico. A publicação do capítulo dedicado a museus pela ASHRAE em 1999 e em 2010 da norma europeia EN15757 – *Conservation of Cultural Property – Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induce mechanical damage in organic hygroscopic materials*, contribuíram positivamente para a padronização das metodologias (Silva e Henriques 2014, Silva e Henriques 2016). Segundo Silva e Henriques, a norma EN15757 ainda não é muito utilizada e existem poucos estudos desta norma aplicada a diferentes climas (Silva e Henriques 2016).

5.5.1. METODOLOGIA ASHRAE

A metodologia da ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers* apresenta um conjunto de especificações de temperatura e de humidade relativa para museus, galerias, bibliotecas e arquivos que sintetizam uma metodologia para o controlo das condições do ambiente interiores. Neste subcapítulo pretende-se avaliar o clima interior das duas configurações analisadas no trabalho experimental realizado no âmbito desta dissertação com base nesta metodologia.

Com origem na América do Norte, a especificação ASHRAE é, atualmente, utilizada em todo o mundo. Esta metodologia limita os riscos de degradação dos materiais: danos biológicos, químicos e mecânicos, através da definição de várias classes climáticas (Silva e Henriques 2014).

Neste subcapítulo, apenas se apresentam os resultados obtidos para a aplicação da metodologia ASHRAE à configuração I, pois a configuração II apresenta resultados semelhantes. No entanto, nos anexos é possível visualizar os resultados da aplicação desta metodologia à configuração II.

5.5.1.1. Descrição da Metodologia

Para museus, galerias, arquivos e bibliotecas, as especificações da ASHRAE estabelecem cinco classes de clima que são função de pequenas flutuações e de ajustes sazonais mais ou menos exigentes em torno de valores de referência: AA, A (As e A), B, C e D. Destas classes, a classe AA é a mais exigente e a D a menos exigente (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011, Kramer, Schellen e Schijndel 2015).

Na Tabela 17 apresentam-se as especificações de temperatura e de humidade relativa definidas pela ASHRAE para museus, galerias, arquivos e bibliotecas, no que se refere às pequenas flutuações, ajustes sazonais, bem como quais os riscos e benefícios para as coleções associados.

Normalmente, os conservadores tendem a controlar o clima dos seus museus de forma a que este cumpra a classe AA, pensando ser o melhor resultado de preservação possível. No entanto, sabe-se que em muitos museus há coleções sujeitas a condições climáticas interiores menos exigentes sem terem sofrido degradação (Kramer, Schellen e Schijndel 2015).

Para museus instalados em edifícios antigos, a classe B é a que mais se apropria. Nesta classe, a maioria dos artefactos estão protegidos, existindo sempre a possibilidade de colocar os artefactos mais sensíveis em vitrinas (Kramer, Schellen e Schijndel 2015). No entanto, a classe A é a ideal para a maior parte dos museus. As classes C e D raramente são aplicáveis a museus, embora existam muitos que nem a classe D cumprem a 100% (Kramer, Schellen e Schijndel 2015).

As classes definidas pelas especificações da ASHRAE compreendem limites para pequenas flutuações e ajustes sazonais, com exigências decrescentes da classe AA para a classe D, em função de valores de referência. Como apresentado na Tabela 17, o valor de referência para a humidade relativa é de 50% ou a média anual histórica para coleções permanentes. Para a temperatura, o valor de referência está compreendido entre os 15°C e os 25°C (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011).

Tabela 17 - Especificações da ASHRAE de temperatura e humidade relativa para coleções em museus, galerias, arquivos e bibliotecas (Adaptado de: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011)

Tipo	Valores de Referência ou Média Anual	Flutuações Máximas e Gradientes em Espaços Controlados			Riscos e Benefícios para as Coleções
		Classe de controlo	Pequenas Flutuações	Ajustes Sazonais dos Valores de Referência	
Museus em geral, Galerias de Arte, Bibliotecas e Arquivos	50% HR (ou a média anual histórica para coleções permanentes)	AA Controlo de precisão, sem correção sazonal	$\pm 5\%$ HR, $\pm 2^{\circ}\text{C}$	HR sem alteração T 5°C acima do valor de referência e 5°C abaixo	Nenhum risco de degradação mecânica para a maior parte dos artefactos e da pintura. Alguns metais e minerais poderão degradar-se se um valor da HR de 50% exceder um valor crítico. Objetos quimicamente instáveis estarão inutilizáveis dentro de décadas.
Salas de consulta e leitura, salas para armazenamento de coleções quimicamente estáveis em particular se forem mecanicamente vulneráveis	Temperatura entre 15°C e 25°C Nota: nas salas destinadas a exposições temporárias deve ser possível o valor solicitado pela entidade que empresta, tipicamente 50% HR, 21°C , mas por vezes 55% ou 60% HR	A Controlo de precisão, alguns fatores ou alterações sazonais, mas não os dois	As $\pm 5\%$ HR, $\pm 2^{\circ}\text{C}$ A $\pm 10\%$ HR, $\pm 2^{\circ}\text{C}$	Aumentar ou reduzir HR 10% Aumentar a T 5°C ou reduzi-la 10°C HR sem alteração Aumentar a T 5°C ou reduzi-la 10°C	Risco reduzido de degradação mecânica para artefactos muito sensíveis, nenhum risco para a maior parte dos artefactos, pintura, fotografias e livros. Objetos quimicamente instáveis estarão inutilizáveis dentro de décadas.
		B Controlo de precisão, alguns fatores mais um ajuste da temperatura de inverno	$\pm 10\%$ HR, $\pm 5^{\circ}\text{C}$	Mais 10% , menos 10% HR Mais 10°C , mas não acima de 30°C	Risco moderado de degradação mecânica em objetos muito sensíveis, risco muito pequeno para a maior parte da pintura e da fotografia, alguns livros e artefactos e risco praticamente nulo para muitos artefactos e a maior parte dos livros. Os objetos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30°C , mas os períodos frios do inverno duplicam a sua vida.

Tipo	Valores de Referência ou Média Anual	Flutuações Máximas e Gradientes em Espaços Controlados			Riscos e Benefícios para as Coleções
		Classe de controlo	Pequenas Flutuações	Ajustes Sazonais dos Valores de Referência	
		C	HR mantida entre 25% e 75% durante todo o ano, temperatura raramente acima dos 30°C, normalmente inferior a 25°C		Risco elevado de degradação mecânica para artefactos muito vulneráveis, risco moderado para a maior parte da pintura e da fotografia e alguns artefactos e alguns livros e um pequeno risco para muitos artefactos e a maior parte dos livros. Os objetos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30°C, mas os períodos frios do inverno duplicam a sua vida.
		D	HR mantida de forma segura a um valor inferior a 75%		Risco elevado de deterioração mecânica brusca ou acumulada para os objetos de arte e pinturas devido à fratura por humidade relativa demasiado baixa, mas são evitadas as deformações provocadas por humidade elevada especialmente nos embutidos, pintura, papel e fotografias. Os objetos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30°C, mas os períodos frios do inverno duplicam a sua vida.
Arquivos, Livrarias	Sala fria: -20°C, 40% HR	±10% HR, ±2°C			Objetos quimicamente instáveis estarão inutilizados num milénio. Flutuações de HR durante um mês não afetam propriamente os registos do armazenamento a esta temperatura (o tempo fora do armazenamento torna o tempo de vida determinante).
Salas para armazenamento de coleções quimicamente instáveis	Sala fria: 10°C, 30% a 50% HR	(Mesmo que esta diminuição seja apenas no inverno, é considerada uma vantagem para as coleções semelhantes, desde que não fiquem sujeitas à humidade)			Objetos quimicamente instáveis estarão inutilizados num século ou mais. Materiais como livros e papéis tendem a ter baixa vulnerabilidade mecânica às flutuações.
Coleções de Metal Especial	Sala seca: 0% a 30% HR	A humidade relativa não pode exceder nenhum valor crítico, tipicamente 30% HR			

A classe AA é a classe mais exigente, mas também a de maior consumo de energia (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011). Esta classe não permite qualquer ajuste sazonal de HR, porém define uma banda de 10% de largura de HR para pequenas flutuações (Kramer, Schellen e Schijndel 2015). A classe A, dividida em duas subclasses As e A, apresenta uma redução do consumo de energia e é a classe ideal para a maioria dos museus e galerias (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011). A diferença entre as duas subclasses As e A é o facto da classe As permitir ajustes sazonais de T e HR, enquanto a classe A só permitir ajustes sazonais de T e HR e permitir pequenas flutuações maiores, correspondendo a uma banda de largura de 20% HR (Kramer, Schellen e Schijndel 2015). A classe B permite pequenas flutuações de temperatura e de humidade relativa, com bandas de largura de 10°C e 20%, respetivamente e os ajustes sazonais de $\pm 10\%$ e 10°C mas não acima de 30°C. Em termos de energia, a classe B economiza mais energia do que a classe A. A classe C impõem limites superior e inferior de HR, entre 25% e 75% durante todo o ano e temperatura com valores raramente superiores a 30°C e, normalmente inferiores a 25°C. (Kramer, Schellen e Schijndel 2015). A classe D apresenta um limite superior de HR de 75% e reconhece como única preocupação climática o controlo da humidade relativa (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011, Kramer, Schellen e Schijndel 2015).

Cada classe ASHRAE tem as suas exigências, por isso a respetiva avaliação tem de ser feita individualmente. A metodologia preconizada pela ASHRAE compreende cinco passos que vão ser descritos e representados graficamente, em figuras, a partir de um exemplo de aplicação para a classe B. O exemplo de aplicação que vai ser descrito é de um caso real que foi utilizado para o compartimento em estudo, galeria de exposição do MPorto, museu este que já foi referido no Capítulo 3.

O primeiro passo é ter disponível os valores horários da temperatura e da humidade relativa interiores ao longo de um ano mais 45 dias ou 1080 horas antes e depois (Fig. 40 e Fig. 41).

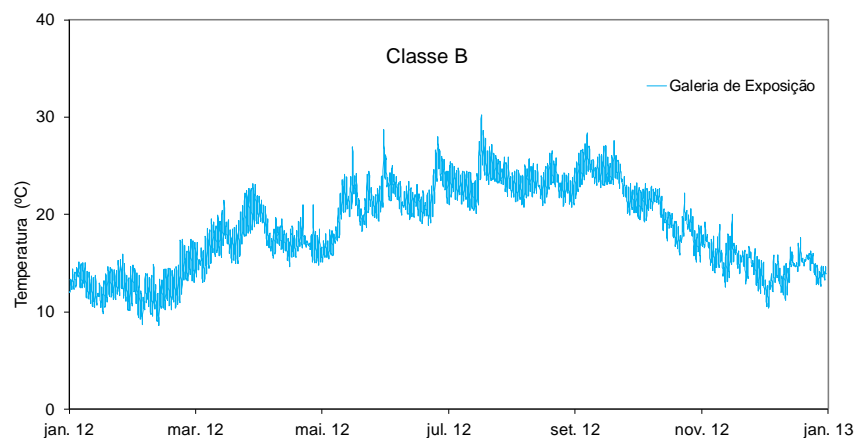


Fig. 40 – Valores horários da temperatura interior do compartimento de estudo

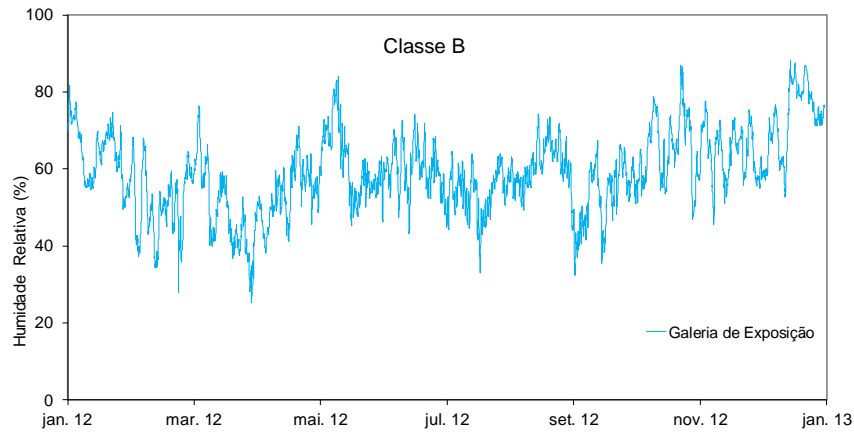


Fig. 41 – Valores horários da humidade relativa interior do compartimento em estudo

Segundo passo, é necessário calcular as médias anuais e as médias dinâmicas sazonais a 90 dias para temperatura e para humidade relativa. Esta média dinâmica sazonal a 90 dias consiste em calcular, para cada hora, a média dos valores horários das 1080 horas antes (45 dias antes) dessa hora e das 1080 horas depois (45 dias depois) dessa hora:

$$\bar{T}_{anual} = \frac{1}{8760} \sum_{i=1}^{8760} T_i \quad (1)$$

$$\bar{T}_{i,sazonal} = \frac{1}{2160} \sum_{a=i-1080}^{i+1080} T_a \quad (2)$$

$$\overline{HR}_{anual} = \frac{1}{8760} \sum_{i=1}^{8760} HR_i \quad (3)$$

$$\overline{HR}_{i,sazonal} = \frac{1}{2160} \sum_{a=i-1080}^{i+1080} HR_a \quad (4)$$

Nas Fig. 42 e 43 apresenta-se, graficamente, os valores horários, a média anual e a curva da média dinâmica sazonal a 90 dias quer para a temperatura quer para a humidade relativa.

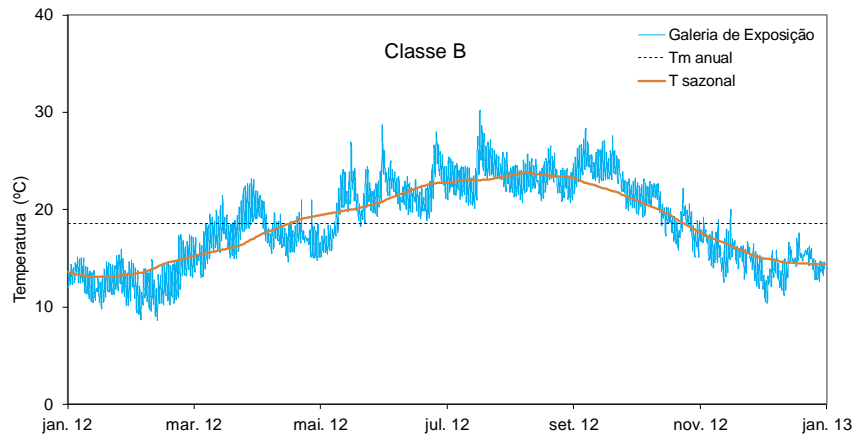


Fig. 42 – Valores horários, média anual e curva da média dinâmica sazonal a 90 dias da temperatura interior do compartimento em estudo

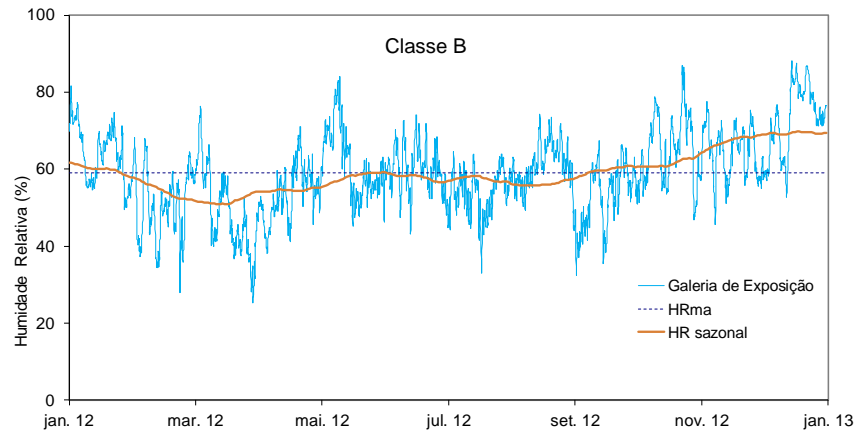


Fig. 43 – Valores horários, média anual e curva da média dinâmica sazonal a 90 dias da humidade relativa interior do compartimento em estudo

O terceiro passo caracteriza-se pela imposição dos ajustes sazonais permitidos para a classe B quer para a temperatura quer para a humidade relativa. Os ajustes sazonais da temperatura da classe B, relativamente à média anual, não podem ultrapassar os 10°C, mas também não podem ser superiores a 30°C. Em relação à humidade relativa, a classe B impõem que os ajustes sazonais não sejam superiores à média anual $\pm 10\%$:

$$\bar{T}_{saz,ajustada} \leq \bar{T}_{anual} + 10^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

$$\bar{T}_{saz,ajustada} \leq 30^{\circ}\text{C} \quad (6)$$

$$\overline{HR}_{anual} - 10\% \leq \overline{HR}_{saz,ajustada} \leq \overline{HR}_{anual} + 10\% \quad (7)$$

Deste modo, surge a curva da média dinâmica sazonal ajustada da temperatura e da humidade relativa, onde os valores calculados são substituídos pelos valores mínimos e máximos permitidos pelos ajustes sazonais se os valores calculados se encontrarem abaixo ou acima dos valores mínimos e máximos.

Este passo encontra-se apresentado nas Fig. 44 e 45 com a representação gráfica dos valores horários e da curva da média dinâmica sazonal ajustada da temperatura e da humidade relativa interiores.

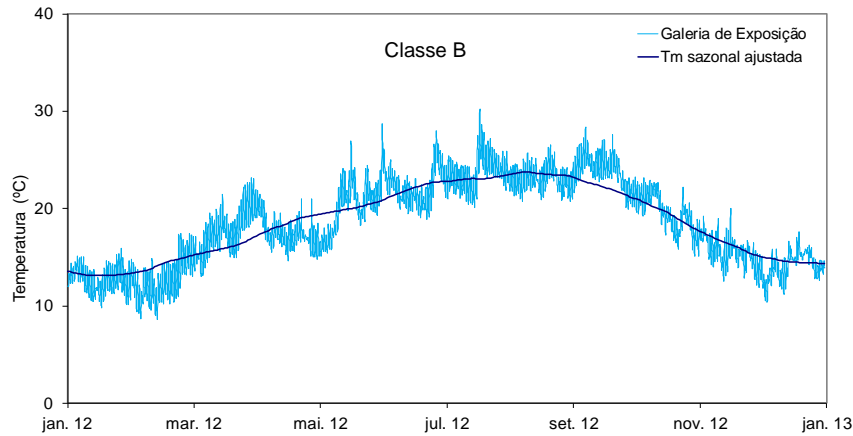


Fig. 44 – Valores horários e curva da média dinâmica sazonal ajustada da temperatura interior do compartimento em estudo

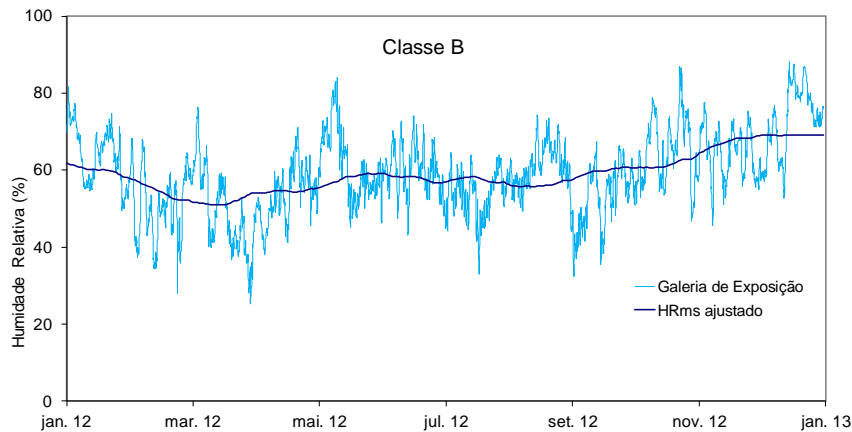


Fig. 45 – Valores horários e curva da média dinâmica sazonal ajustada da humidade relativa interior do compartimento em estudo

As pequenas flutuações são definidas no quarto passo desta metodologia. A classe B limita a temperatura a $\pm 5^\circ\text{C}$ e a humidade relativa a $\pm 10\%$. Para determinar a banda de valores permitida para esta classe, soma-se à curva da média dinâmica sazonal ajustada as pequenas flutuações (Fig. 46 e 47):

$$\overline{T}_{saz,ajustada} \pm 5^\circ\text{C} \quad (8)$$

$$\overline{HR}_{saz,ajustada} \pm 10\% \quad (9)$$

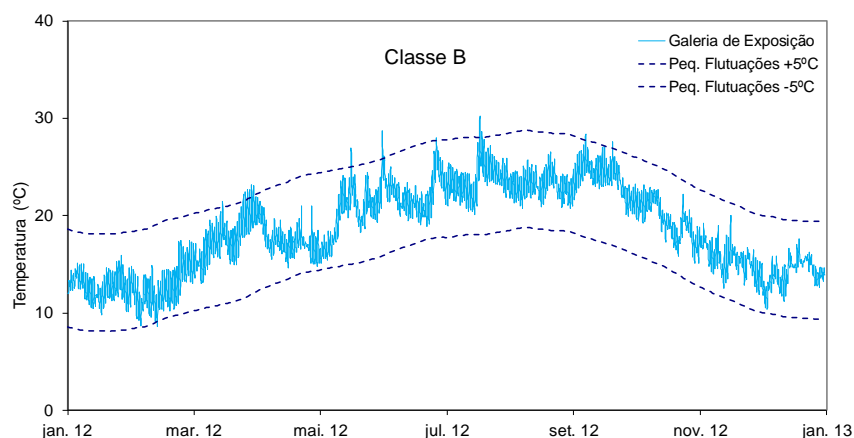


Fig. 46 – Valores horários e pequenas flutuações permitidas para a temperatura interior do compartimento em estudo

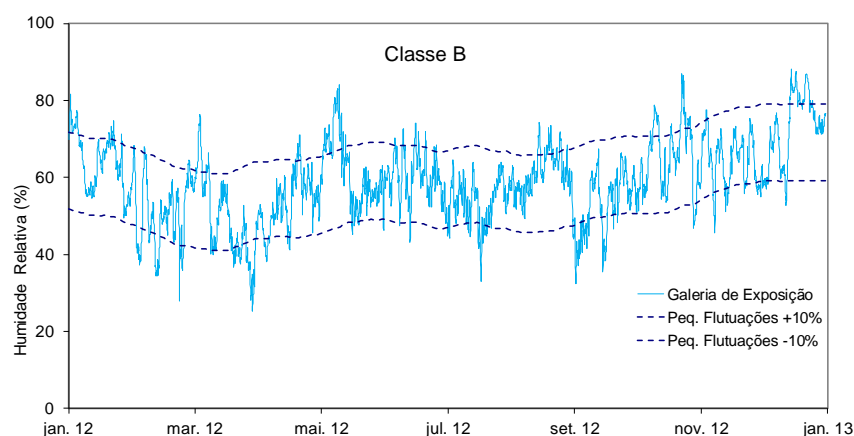


Fig. 47 – Valores horários e pequenas flutuações permitidas para a humidade relativa interior do compartimento em estudo

Finalmente, calcula-se a percentagem dos valores que se encontram dentro da banda da temperatura e da humidade relativa, resultando assim na percentagem de tempo em que o espaço museológico cumpre a classe B de acordo com a metodologia ASHRAE. Neste caso a percentagem foi de 74%.

5.5.1.2. Aplicação da Metodologia à Configuração I

Nesta secção apenas se apresenta a aplicação da metodologia à configuração I, pois os resultados para a configuração II são muito semelhantes. No entanto, todos os resultados para ambas as configurações são apresentados em anexo.

Como já foi referido, as classes C e D raramente são utilizadas em museus, por isso só irão ser apresentados os resultados das classificações para as classes AA, A, subdividida em As e A e para a classe B.

Relembrando o que foi abordado anteriormente, a configuração I foi ensaiada apenas com o material PFMCB no interior da câmara de fluxos e a configuração II com dois materiais: PFMCB e PFMLM, ocupando o dobro da área em comparação com a configuração I.

Apresenta-se na Fig. 48 os gráficos com a classificação do ambiente interior presente na configuração I para cada classe da especificação ASHRAE, durante um ano. Os valores estão apresentados em percentagem, de 0% a 100%, em que 100% significa que todos os valores se encontram dentro da banda permitida. As percentagens apresentadas à direita correspondem à temperatura, à esquerda representam a humidade relativa e ao centro referem-se ao cumprimento da temperatura e da humidade relativa ao mesmo tempo. As classificações obtidas para as várias classes ASHRAE encontram-se sintetizadas na Tabela 18.

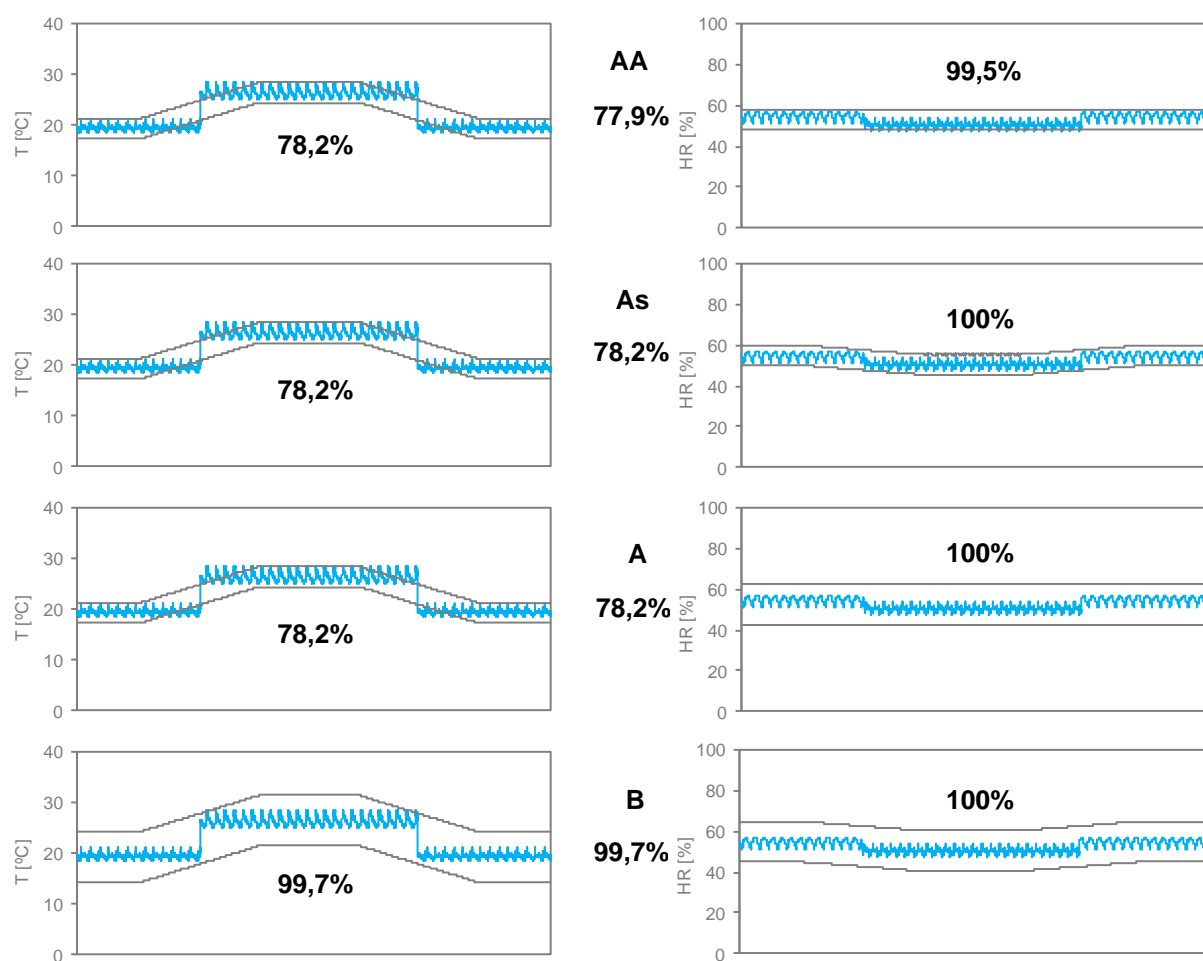


Fig. 48 – Classificações do interior da configuração I de acordo com as classes ASHRAE para os dados obtidos durante um ano

Tabela 18 - Síntese da classificação do clima interior da configuração I, de acordo com a especificação ASHRAE

Classes	AA	As	A	B
T	78,2%	78,2%	78,2%	99,7%
HR	99,5%	100%	100%	100%
T + HR	77,9%	78,2%	78,2%	99,7%

Pela análise da Fig. 48 e da Tabela 18 verifica-se que a temperatura diminui, significativamente, o resultado da classificação das classes ASHRAE. Ao longo desta dissertação refere-se muitas vezes que a maior preocupação é o controlo da humidade relativa para garantir a preservação das coleções, por isso o resultado é bastante positivo. Como os resultados são idênticos para a configuração II pode-se afirmar que a utilização de um (PFMCB) ou de dois materiais (PFMCB+PFMLM) ocupando o dobro da área ocupada apenas com um material, de acordo com as condições ensaiadas, é vantajosa para o controlo da humidade relativa, diminuindo, assim, os riscos de degradação dos artefactos.

5.5.2. METODOLOGIA EN15757

A norma europeia EN15757 - *Conservation of Cultural Property - Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials* conduz à especificação da temperatura e da humidade relativa em museus, galerias, arquivos, bibliotecas, igrejas, áreas de armazenamento e edifícios modernos ou históricos que provocam danos físicos nos materiais orgânicos e higroscópicos, quando estes estão em armazenamento ou em exposição a longo prazo (mais do que um ano) (CEN - European Committee for Standardization 2017).

Por ser uma norma relativamente recente, ainda não está totalmente explorada (Silva e Henriques 2014).

De forma análoga ao que se passou para a metodologia ASHRAE, neste subcapítulo, para além de demonstrar a metodologia seguida pela norma EN15757, irá ser classificada apenas a configuração I do trabalho experimental, uma vez que a configuração II apresenta resultados iguais.

5.5.2.1. Descrição da Metodologia

Ao contrário do que acontece com a metodologia da ASHRAE, a norma EN15757 não analisa a variação da temperatura, centrando-se apenas na variação da humidade relativa (Silva e Henriques 2014).

A metodologia preconizada pela norma EN15757 consiste em cinco passos e tem como objetivo encontrar uma banda de valores segura para a humidade relativa calculada através da média dinâmica sazonal e das diferenças entre as médias horárias e as médias dinâmicas sazonais. O exemplo demonstrado teve como aplicação a galeria de exposição do MPorto.

O primeiro passo é calcular a humidade relativa média anual, com base nas humidades relativas médias horárias registadas no interior de um museu (Fig. 49), em que um ano com 365 dias contém 8760 horas:

$$\overline{HR}_{anual} = \frac{1}{8760} \sum_{i=1}^{8760} HR_i \quad (10)$$

É necessário também ter disponíveis os dados anuais mais os 15 dias antes (360 horas antes) mais os 15 dias depois (360 horas depois).

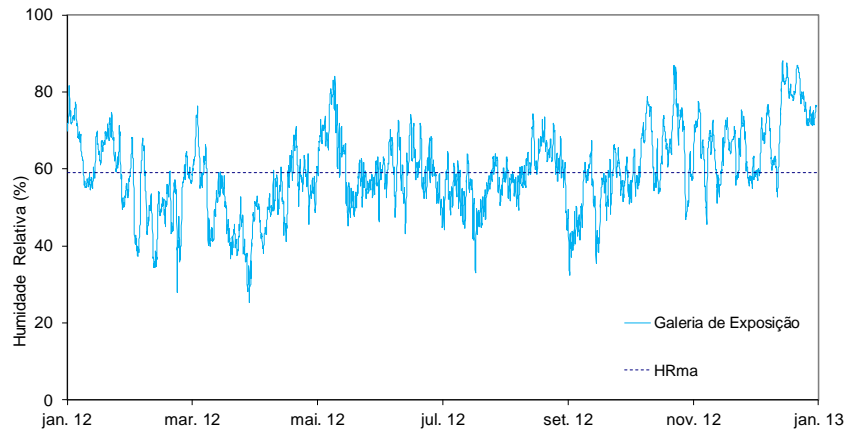


Fig. 49 – Valores horários e média anual da humidade relativa interior do compartimento em estudo

De seguida deve proceder-se ao cálculo da média dinâmica sazonal a 30 dias, onde cada hora resulta da média dos valores horários das 360 horas antes e das 360 horas depois, dessa hora (Fig.50):

$$\overline{HR}_{i,sazonal} = \frac{1}{720} \sum_{a=i-360}^{i+360} HR_a \quad (11)$$

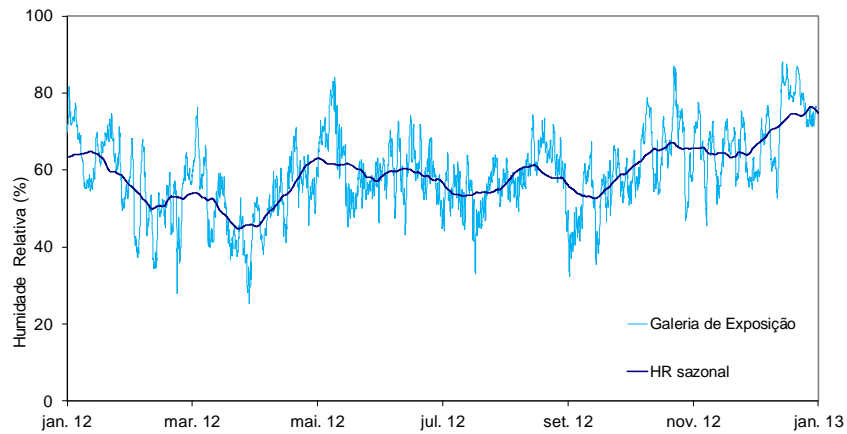


Fig. 50 – Valores horários e curva da média dinâmica sazonal da humidade relativa interior do compartimento em estudo

O terceiro passo consiste na determinação das pequenas flutuações, calculando-se as diferenças entre os valores médios horários e os valores da média dinâmica sazonal respetivos dessa hora:

$$\Delta_i = HR_i - \overline{HR}_{i,sazonal} \quad (12)$$

Neste mesmo passo, determinam-se o 7º e o 93º percentil das diferenças calculadas anteriormente ou, então, podem ser consideradas pequenas flutuações de $\pm 10\%$. Encontra-se representada na Fig. 51 os Δ_i e os percentis calculados. A soma dos percentis 7º e 93º das diferenças com a curva da humidade relativa média dinâmica sazonal resulta de uma banda de valores (Fig. 52) que define a metodologia da norma europeia.

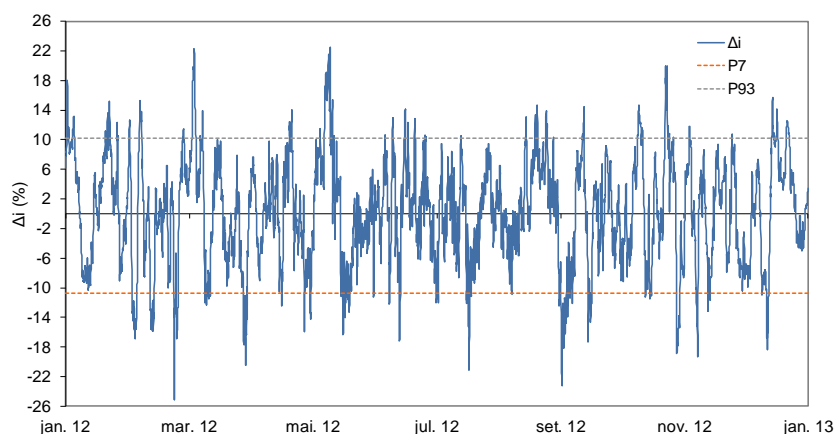


Fig. 51 – Percentis 7º e 93º

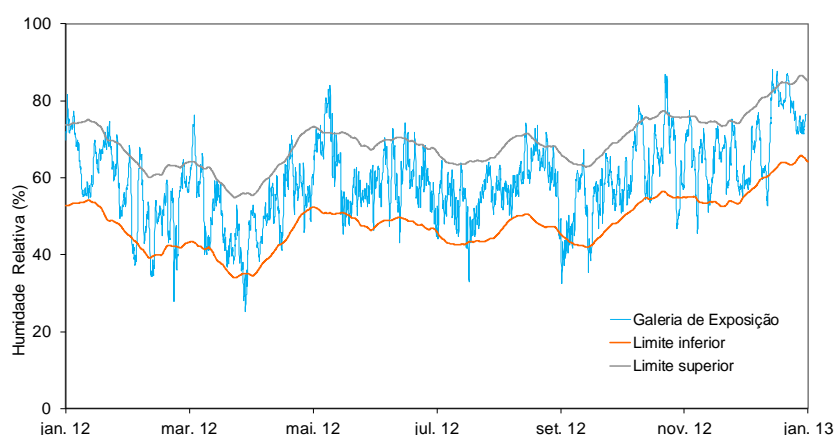


Fig. 52 – Valores horários e banda de valores permitida para a humidade relativa interior do compartimento em estudo

Finalmente, é calculada a percentagem de valores que está dentro da banda. Como este caso é de um museu, este resultado indica a percentagem do ano em que limitam os danos físicos induzidos pelas variações do clima. De acordo com a metodologia da norma EN15757, o MPorto está protegido de danos físicos durante 86% do ano.

5.5.2.2. Aplicação da Metodologia à Configuração I

Apresenta-se na Fig. 53 o resultado da aplicação da norma EN15757 ao clima interior registado na configuração I. Os dados obtidos foram convertidos para um ano.

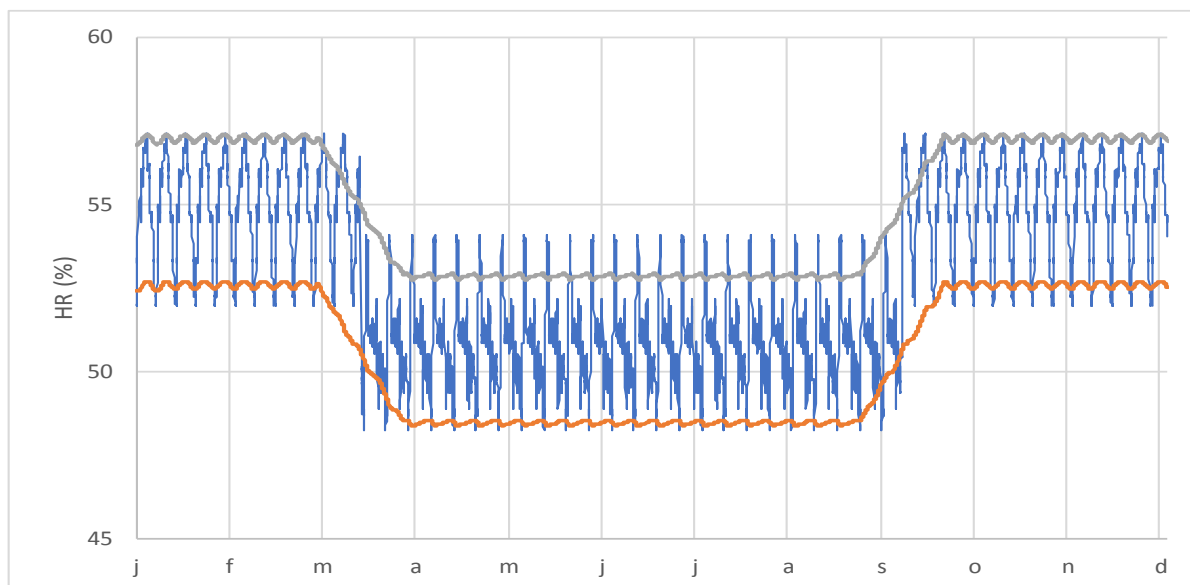


Fig. 53 – Aplicação da norma EN15757 ao clima interior registado na configuração I

A percentagem de valores que estão dentro da banda é de 86%. Assim, nesta configuração verifica-se que em 86% do ano, os danos físicos provocados pelas variações do clima interior não constituem perigo de degradação aos objetos museológicos.

Como o resultado para a configuração II é igual, tanto faz ter apenas um material (PFMCB) ou os dois materiais em conjunto (PFMCB + PFMLM) a ocupar o dobro da área ocupada para apenas um material, de acordo com as condições de ensaio.

Comparando com as classificações obtidas para as classes da ASHRAE, com a aplicação da norma europeia EN15757 ao clima interior de ambas as configurações obtém-se um resultado menor. Deste modo, a norma EN15757 é mais exigente que as especificações da ASHRAE.

5.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO 5

Este capítulo tem como objetivo a caracterização experimental da influência de revestimentos higroscópicos na estabilização da humidade relativa. Para este trabalho experimental foi utilizada a infraestrutura laboratorial disponível no Laboratório de Física das Construções que é composta por uma câmara de fluxos (CF), um modelo reduzido, instalada no interior de uma câmara climática (CC). A CF encontra-se dotada de um sistema de ventilação, de um sistema de produção de vapor, de um sistema de monitorização e de uma abertura que possibilita colocar e retirar materiais de revestimento. O sistema de monitorização é composto por cinco sondas: S2, S3, S4, S5 e S6 que registam valores de temperatura e de humidade relativa. A sonda S2 encontra-se no exterior da CF, mas no interior da CC, registando as variações higrotérmicas desta câmara. As restantes quatro sondas encontram-se no interior da CF e registam as variações de temperatura e de humidade relativa do interior da CF.

No âmbito desta dissertação foram avaliadas duas configurações, I e II. A configuração I apenas foi avaliada com PFMCB no interior da CF. Na configuração II colocaram-se dois tipos de materiais: um a revestir a superfície lateral posterior, o PFMLM e PFMCB a revestir a face inferior da CF, ocupando assim o dobro da área ocupada na configuração I. Nas duas configurações expostas foram medidas as variações de temperatura e de humidade relativa para o ciclo de inverno e o ciclo de verão. Essas

variações de temperatura e de humidade relativa foram registadas pelas sondas de 10 em 10 minutos. O caudal de ventilação utilizado para ambas as configurações foi de 0.65h^{-1} que é um caudal elevado para o volume do modelo reduzido que temos.

Claramente, verificou-se que os valores obtidos de humidade relativa são diferentes na CC (exterior) e na CF (interior), pelo uso de materiais higroscópicos de revestimento. Enquanto que no exterior existe uma grande variação e flutuação de humidade relativa, no interior verifica-se uma menor variação e flutuação. A utilização destes materiais é essencial para a preservação de acervos museológicos e para a estabilização da humidade relativa interior.

Ao contrário do que seria esperado, as diferenças dos ΔHR obtidos para as duas configurações em ambos os ciclos são muito próximos: 6%/5% (inverno) e 7%/6% (verão). Uma das justificações para estes resultados é o facto de a ventilação também influenciar a variação das condições higrotérmicas interiores. Neste trabalho experimental foi adotada um caudal de ventilação de 0.65h^{-1} que é um valor elevado para o volume da CF utilizada. Assim, é indiferente ter ou não o dobro de material de revestimento no interior da CF, pois o valor do $\Delta\text{HR}_{\text{CC}}$ nos dois casos são muito próximos.

Com este trabalho experimental confirma-se, também, a possibilidade de utilizar vitrinas como técnica passiva de controlo da humidade relativa interior de museus.

Para melhor classificar o clima interior presente nas duas configurações avaliadas, existem duas metodologias: ASHRAE e EN15757. A partir da humidade relativa sazonal a 90 dias e a 30 dias, de acordo com ASHRAE e EN15757, respetivamente, é definida uma banda de valores. A percentagem dos valores dentro da banda indica a percentagem do ano em que os objetos museológicos estão protegidos dos danos.

As especificações da ASHRAE apresentam um conjunto de classes, de AA a D, para o clima interior em museus, bibliotecas, arquivos e galerias. A classe AA é a mais exigente, decrescendo até à classe D que é a menos exigente. A aplicação da classe AA ao clima interior de museus resulta de um consumo mais elevado de energia. Atualmente, a eficiência energética e a sustentabilidade são temas muito importantes para museus instalados em edifícios antigos, pelo que o gasto de energia pode ser um fator decisivo na escolha da classe ASHRAE a aplicar nestes casos. A classe B, menos exigente, é a classe mais apropriada para aplicação em climas interiores de museus instalados em edifícios antigos. As classes C e D são as menos aplicáveis a museus.

Cada classe ASHRAE tem as suas limitações, pelo que devem ser tratadas individualmente. A metodologia ASHRAE impõem limites para os ciclos sazonais, em que os ajustes da temperatura e da humidade relativa são definidos a partir dos valores de referência. Estes valores são de 50% ou a média anual histórica, para a humidade relativa e para a temperatura os valores devem estar entre os 15°C e os 25°C . Para além dos ajustes sazonais, a metodologia ASHRAE também impõem limites para as pequenas flutuações.

A aplicação da metodologia ASHRAE às duas configurações resulta de uma classificação idêntica, onde a temperatura é o fator que mais influencia o resultado. Deste modo, apenas foi apresentada a aplicação da metodologia ASHRAE à configuração I. Como o controlo da humidade relativa é o aspeto mais importante para garantir a preservação das coleções e as classificações de todas as classes é excelente (100%), basta apenas a utilização do material PFMCB para se garantir a proteção dos objetos museológicos dos danos provocados pelas variações do clima interior, durante 100% do ano.

A norma europeia EN15757, ao contrário das especificações ASHRAE, não classifica o clima interior em classes. A metodologia da norma EN15757 é apenas aplicada para a humidade relativa e só limita as pequenas flutuações.

A classificação das duas configurações de acordo com a norma EN15757 resulta de valores semelhantes, pelo que só se apresenta o resultado relativo à aplicação desta metodologia à configuração I. A aplicação desta norma europeia às duas configurações indica que em 86% do ano, os danos físicos provocados pelas variações do clima interior não constituem perigo de degradação aos objetos museológicos. A norma EN15757 é assim mais exigente, em comparação com as classificações pelas especificações ASHRAE.

O surgimento destas especificações e normas foi importante, pois padronizaram as metodologias, principalmente quando se tratam de museus instalados em edifícios antigos. Aqui, o controlo das condições higrotérmicas interiores é fundamental para garantir a proteção e a conservação dos objetos museológicos da influência das variações climáticas interiores.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos com esta dissertação pode-se afirmar que o objetivo principal foi atingido, pois foi realizado um trabalho experimental para analisar a influência de revestimentos higroscópicos na estabilização da humidade relativa. Esta é uma tese experimental, logo não é fácil, num período de tempo tão curto obter muitos resultados e interpretá-los como situações reais, uma vez que os valores medidos foram obtidos numa câmara de fluxos com um modelo reduzido. Apesar disso, procurou-se tratar o melhor possível a realidade para que os resultados sejam generalizados ao ambiente interno de um museu.

O tema abordado nesta dissertação é um tema interessante e sempre atual, pois estuda a vantagem da implementação de sistemas passivos na reabilitação de museus portugueses instalados em edifícios antigos, numa perspetiva de estabilização de humidade relativa interior.

6.2. SÍNTESE DAS CONCLUSÕES OBTIDAS

No final de todos os capítulos desta dissertação foi apresentada uma síntese de cada capítulo. Neste subcapítulo vai ser efetuada uma síntese global de todas as conclusões.

Antes de reabilitar um determinado edifício antigo que vai ser utilizado como museu é importante conhecer as condições de utilização e a envolvente, de modo a serem tomadas estratégias mais adequadas. Em Portugal existe um grande número de museus e os visitantes têm vindo a aumentar ao longo dos anos, refletindo o aumento da curiosidade pelo conhecimento por parte das pessoas, bem como o aumento do turismo cultural. Os bens culturais são uma parte indispensável do acervo museológico e por isso, é importante conservá-los e protegê-los dos danos, principalmente os provocados pela humidade.

Não se conseguiu apurar, mas acredita-se que a maior parte dos museus portugueses estão situados em edifícios antigos em que há o aumento do número de visitantes, pelo que garantir o controlo das condições higrotérmicas interiores, sem pôr em risco as coleções presentes é fundamental. Desta maneira, é necessário perceber e caracterizar os fatores que condicionam o clima interior dos museus. Estes fatores são: o clima exterior, a humidade relativa interior, a iluminação e a produção de vapor. Portugal situa-se numa zona onde domina o clima temperado (Atlântico/Mediterrâneo), ou seja, os invernos são menos frios e os verões são menos quentes, pelo que a adoção de sistemas passivos para o controlo da humidade relativa interior sem o auxílio de sistemas ativos complexos que contribuam para

o controlo das flutuações de humidade relativa, proporcionando a proteção necessária aos objetos museológicos é uma estratégia possível.

Dos TRY analisados de três cidade portuguesas: Braga, Porto e Lisboa, a cidade de Lisboa é, em comparação com as outras, a cidade com temperaturas mais elevadas com 39°C e a cidade menos húmida com uma humidade relativa média de 70%. Das três cidades, Braga é a mais húmida, uma vez que a humidade relativa média para esta cidade é de 77% e a do Porto é 72%. Para uma melhor análise do clima exterior de Portugal seria importante dispor do TRY para todas as capitais de distrito e uma tabela com os parâmetros estatísticos.

Nesta dissertação foram analisados dois museus portugueses: o MPorto, situado no Porto e o MLisboa localizado em Lisboa. As condições higrotérmicas interiores destes museus apresentam grandes flutuações de temperatura e de humidade relativa, tanto no MPorto sem instalação de sistemas de aquecimento e arrefecimento como no MLisboa com sistema de aquecimento. O ΔHR do compartimento em estudo do MPorto é de 63% e o ΔHR da sala X do MLisboa é de 46%. Assim, estes museus necessitam de uma grande campanha de monitorização e de um ajuste das suas condições climáticas interiores. Com o exemplo demonstrado do MLisboa, é possível verificar o benefício do uso das vitrinas para melhorar o controlo das condições higrotérmicas interiores, sobretudo da humidade relativa, uma vez que $\Delta HR_{sala X} = 46\%$ e o $\Delta HR_{vitrina} = 19\%$. Deste modo, as coleções mais vulneráveis podem ser colocadas em vitrinas com ventilação controlada e também elas podem ser desenvolvidas para ter um comportamento passivo.

O melhor ou pior desempenho higroscópico dos materiais de revestimento interior e pinturas quantifica-se através das propriedades higroscópicas: curva higroscópica, permeabilidade ao vapor de água (materiais de revestimento), espessura da camada de ar de difusão equivalente (pinturas) e o MBV. Todas estas propriedades permitem caracterizar a troca de humidade, em fase vapor, dos materiais de revestimento e também de pinturas. Nesta dissertação foi proposta uma tabela de materiais de revestimento e outra tabela de pinturas com valores dessas propriedades e a classificação relativa, de 0% a 100%, para cada propriedade higroscópica considerada, de forma a quantificar os desempenhos higroscópicos dos vários materiais. À curva higroscópica corresponde o potencial higroscópico, à permeabilidade ao vapor de água e espessura da camada de ar de difusão equivalente corresponde o potencial de difusão e o MBV está associado à capacidade de armazenamento. O material de revestimento com melhor potencial higroscópico é a madeira de carvalho e o pior é o granito. Quanto ao potencial de difusão o material PFMLM é o que tem a classificação máxima e o granito é o que tem a pior classificação. O material com a melhor capacidade de armazenamento é o PFMCB e a pior é o reboco de gesso e cal. Em relação às pinturas, a sua aplicação aos vários materiais pode aumentar ou diminuir o valor do MBV do material de revestimento. De referir que o gesso projetado e o reboco de gesso e cal obtêm valores de MBV mais baixos quando se aplicam tintas acrílicas e vinílicas, com ou sem primário. Deste modo, para estes materiais estas pinturas são um fator prejudicial em termos de MBV. Com os valores apresentados das propriedades higroscópicas nas duas tabelas, criou-se uma base de dados reduzida para materiais de revestimento interior e pinturas.

Sendo o principal objetivo desta dissertação a caracterização experimental da influência de revestimentos higroscópicos na estabilização da humidade relativa, neste presente trabalho foram ensaiados dois materiais higroscópicos de revestimento no interior de uma câmara de fluxos (modelo à escala reduzida). Procedeu-se à medição da variação das condições higrotérmicas da CC (exterior) e da CF (interior) de acordo com os registos de temperatura e de humidade relativa das várias sondas que constituem o sistema de monitorização da CF. Foram avaliadas duas configurações, I e II. A configuração I resulta apenas da utilização do material PFMCB no interior da CF. Na configuração II foram ensaiados dois materiais no interior da CF: PFMLM + PFMCB, ocupando o dobro da área

ocupada na configuração I. O caudal de ventilação utilizado é de 0.65h^{-1} que, para o volume que temos da CF é um valor elevado. Para ambas as configurações foram avaliados dois ciclos: um ciclo de inverno (7 dias) e um ciclo de verão (8 dias). Esta diferença existe, pois pretende-se que o valor das condições higrotérmicas do início dos ciclos sejam praticamente as mesmas no fim dos ciclos. Pela análise dos valores obtidos verificou-se que as duas configurações têm resultados muito próximos para os dois ciclos. As diferenças dos ΔHR obtidos para as duas configurações em ambos os ciclos são muito próximos, com 6%/5% (inverno) e com 7%/6% (verão). Uma das justificações para estes resultados é o facto de a ventilação também influenciar a variação das condições higrotérmicas interiores. Assim, é indiferente ter ou não o dobro de material de revestimento no interior da CF, pois o valor do $\Delta\text{HR}_{\text{CC}}$ nos dois casos são muito próximos. Apesar disto, verificou-se também que a introdução dos materiais no interior da CF diminui, consideravelmente, os picos de humidade relativa registados na CC (exterior). Deste modo, estes revestimentos higroscópicos têm influência na estabilização da humidade relativa interior, protegendo os objetos museológicos contra os danos devidos às variações de humidade relativa.

A existência de metodologias padronizadas como as especificações da ASHRAE ou a norma europeia EN15757 vieram auxiliar na classificação do clima interior de museus. As especificações da ASHRAE para museus, bibliotecas, arquivos e galerias contemplam cinco classes: AA, A, subdividida em As e A, B, C e D com metodologias e exigências distintas, pelo que devem ser caracterizadas individualmente. Para todas as classes ASHRAE são definidos limites para os ajustes sazonais e para as pequenas flutuações, ambas para a temperatura e humidade relativa. Neste aspeto, a norma europeia EN15757 é muito diferente, pois só impõe limites para as pequenas flutuações de humidade relativa. As metodologias ASHRAE e EN15757 foram aplicadas às configurações I e II. Como os resultados para as duas configurações são semelhantes, neste trabalho só se apresentam os resultados para a configuração I. As classificações do clima interior das duas configurações ensaiadas foi excelente segundo a metodologia ASHRAE para a humidade relativa. A aplicação da norma EN15757 resultou de uma classificação inferior à obtida para a especificação ASHRAE, mas mesmo assim, durante 86% do ano, o acervo museológico presente no interior de um museu está protegido dos danos físicos provocados pelas variações do clima interior. Devido a estes resultados pode-se afirmar que a norma europeia EN15757 é mais exigente que as especificações ASHRAE.

O trabalho experimental com classificação do clima interior realizado para esta dissertação é válido para aplicação noutros tipos de materiais higroscópicos de revestimento interior.

6.3. RESPOSTA ÀS QUESTÕES FORMULADAS

No Capítulo 1 foi colocado um conjunto de quatro questões. Após a realização deste trabalho é possível dar uma resposta parcial a estas questões.

Há influência dos materiais higroscópicos de revestimento interior na estabilização da humidade relativa?

Os revestimentos higroscópicos são caracterizados por adsorver moléculas de água quando a humidade relativa do ar é elevada, devolvendo-as ao ambiente quando a humidade relativa do ar baixa. Deste modo, existe um controlo da humidade relativa, reduzindo os picos. A presença de materiais com estas características no interior de um museu garante a preservação e reduz os danos nos objetos museológicos, principalmente os causados pela humidade. A partir do trabalho experimental realizado no âmbito desta dissertação foi provado o benefício do uso de materiais higroscópicos de revestimento interior como sistema passivo no controlo da humidade relativa interior.

Apresenta-se na Fig. 54 a variação da humidade relativa do ciclo de verão da configuração II avaliada nesta dissertação. Os materiais de revestimento são colocados no interior da CF (modelo à escala reduzida), em que se registam os valores de temperatura e humidade relativa no interior e no exterior da CF.

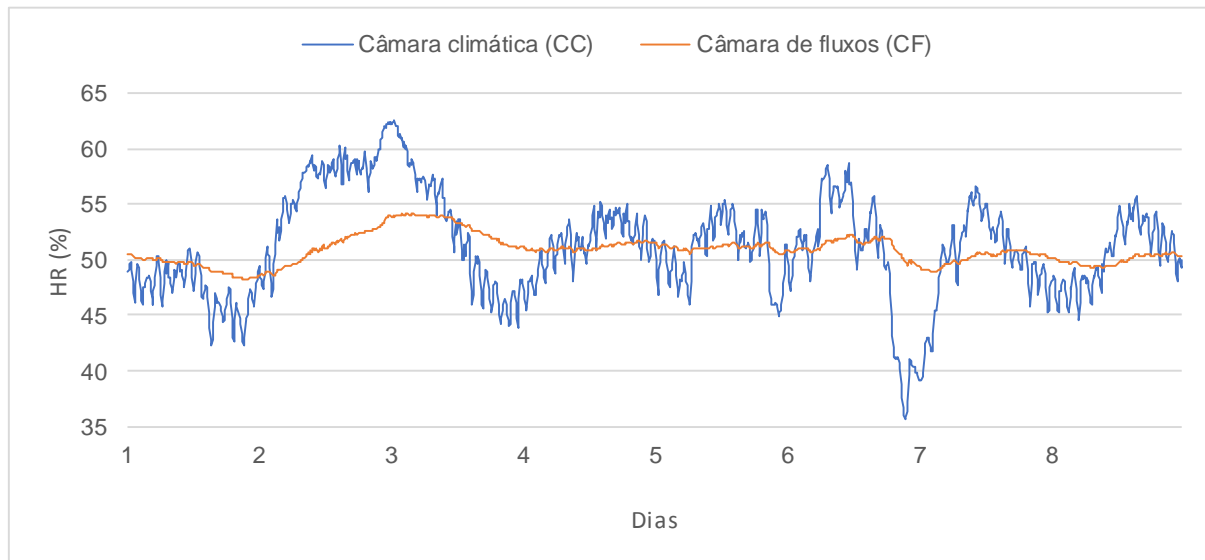


Fig. 54 – Variação de HR do ciclo de verão da configuração II

A partir desta figura é possível verificar a diferença dos valores de humidade relativa entre o interior (CF) e o exterior (CC). Enquanto que na CC existe uma grande flutuação da HR, na CF o ΔHR é menor: $\Delta HR_{CC} = 27\%$ e $\Delta HR_{CF} = 6\%$. A utilização de materiais higroscópicos de revestimento fornece, assim, um maior controlo da humidade relativa interior.

É possível medir a influência de revestimentos interiores e pinturas, com diferentes propriedades higroscópicas na estabilização da humidade relativa?

O objetivo principal desta dissertação é a caracterização experimental da influência de revestimentos higroscópicos na estabilização da humidade relativa. Deste modo, no âmbito desta dissertação, avaliou-se experimentalmente a influência de dois materiais na estabilização da humidade relativa: PFMLM – Painéis de Fibras de lã de Madeira de abeto revestidas por Ligantes Minerais e PFMCB - Painéis à base de Fibras de Madeira aglomeradas com Cimento Branco. De acordo com o estudo realizado, estes dois materiais apresentam diferentes valores para cada propriedade higroscópica considerada, bem como diferentes aptidões de domínio higroscópico. As propriedades consideradas são: curva higroscópica, permeabilidade ao vapor de água e o MBV. Na Tabela 19 apresenta-se os valores de cada propriedade higroscópica e classificação relativa destes dois revestimentos.

Tabela 19 - Valores das propriedades higroscópicas dos materiais de revestimento PFMLM e PFMCB e respetivas classificações

Material	Curva higroscópica u (Kg/Kgx100)				Permeabilidade ao vapor de água [Kg/(m.s.Pa)]x10 ⁻¹²			MBV [g/(m ² .%HR)]			Referência
	40	60	80	Δ 40-80	Potencial Higroscópico 0-100%	$\delta_{p,seca}$	$\delta_{p,húmida}$	Potencial de difusão 0-100%	Valor	Capacidade de armazenamento 0-100%	
Painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais (PFMLM)	2.3	4.0	7.5	5.2	71.0	59.0	173	100	2.21	97.8	(Ferreira 2015)
Painéis à base de fibras de madeira aglomeradas com cimento branco (PFMCB)	2.1	2.9	4.9	2.8	37.9	41.3	137	79.1	2.25	100	(Ferreira 2015)

No trabalho experimental foi utilizada uma infraestrutura laboratorial presente no Laboratório de Física das Construções da FEUP. Essa infraestrutura é composta por uma câmara climática (CC) que no seu interior se encontra instalada uma câmara de fluxos (CF), um modelo à escala reduzida. A CF está dotada de uma abertura que permite introduzir e retirar materiais de revestimento do seu interior, de um sistema de ventilação, de um sistema de produção de vapor e de um sistema de monitorização constituído por cinco sondas que registam valores de temperatura e de humidade relativa. Quatro das sondas estão no interior da CF e medem as variações higrotérmicas do interior da CF e uma encontra-se no exterior da CF e mede as variações higrotérmicas do exterior, ou seja, da CC. Para o trabalho experimental realizado consideraram-se duas configurações, I e II. A configuração I foi avaliada apenas com a introdução do material PFMCB no interior da CF. Na configuração foram avaliados os dois materiais: PFMCB + PFMLM no interior da CF, ocupando o dobro da área ocupada na configuração I. Para estas duas configurações foram analisados os valores de temperatura e de humidade relativa registados pelas várias sondas, de acordo com os dois ciclos avaliados: o ciclo de inverno (7 dias) e o ciclo de verão (8 dias).

É possível criar uma base de dados de materiais de revestimento interior e pinturas com a quantificação e classificação para cada propriedade higroscópica?

Nesta dissertação foram apresentadas duas tabelas tipo de materiais de revestimento interior e pinturas (Tabelas 9 e 10) onde, para cada material e pintura, é colocado o valor e respetiva classificação de cada propriedade higroscópica: curva higroscópica, permeabilidade ao vapor de água (revestimentos), espessura da camada de ar de difusão equivalente (pinturas) e o MBV. De maneira a quantificar as aptidões ao nível higroscópico para cada propriedade higroscópica considerada corresponde um tipo de potencial, classificado de 0% a 100%, de acordo com a lista de materiais/pinturas apresentada. À curva higroscópica corresponde o potencial higroscópico. À permeabilidade ao vapor de água e à espessura da camada de ar de difusão equivalente corresponde o potencial de difusão e ao valor do MBV está associada a capacidade de armazenamento. Com base nestas tabelas é possível criar uma base de dados de quantificação e classificação das propriedades higroscópicas para todos os materiais de revestimento interior e pinturas.

É possível classificar os climas interiores de espaços museológicos?

Após os registos das condições higrotérmicas interiores de um determinado compartimento é possível, seguindo as metodologias definidas, classificar o clima interior. Para aplicação em climas interiores de museus existem as especificações ASHRAE e a norma europeia EN15757. Nesta dissertação procedeu-se à classificação do clima interior das duas configurações avaliadas, com base nas metodologias da ASHRAE e da norma EN15757. A aplicação destas metodologias ao clima interior do compartimento em estudo resulta numa banda de valores para temperatura e para humidade relativa, em que a percentagem de valores dentro da banda corresponde à percentagem do ano em que os objetos museológicos estão protegidos dos danos provocados pelas variações do clima interior.

6.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O tema desta dissertação está sempre atual e é de grande importância nos museus e nos edifícios antigos que contém no seu interior objetos de grande interesse cultural, em que a sua preservação é indispensável. Após o trabalho realizado nesta dissertação é possível afirmar que ainda existem diversos aspetos a serem explorados e que servem de temas para desenvolvimentos futuros, nomeadamente:

- Obter resultados experimentais com outros caudais de ventilação;
- Caracterização experimental de outros materiais de revestimento interior, como por exemplo, a madeira não envernizada;
- Desenvolver um modelo simplificado, de maneira a dimensionar os modelos utilizados na avaliação experimental face à área de material x volume do espaço. Isto exige uma intensa simulação numérica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. "Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications." *2011 ASHRAE Handbook*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2011.
- Azevedo, Simão Cabanita de. *Influência do teor de água no comportamento de materiais de construção*. Dissertação de Mestrado, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, 2011.
- Bilbao, Julia, Argimiro Miguel, José A. Franco, and Arturo Ayuso. "Test Reference Year Generation and Evaluation Methods in the Continental Mediterranean Area." *Journal of Applied Meteorology*, 2004: 390-400.
- Building Science Corporation. *Info-500: Building Materials Property Table*. Abril 24, 2015. <https://buildingscience.com/documents/information-sheets/building-materials-property-table#F01> (accessed Março 23, 2017).
- Camuffo, Dario, and Adriana Bernardi. "The Microclimate of the Sistine Chapel, Rome." *European cultural heritage newsletter on research*. 1995.
- Casanovas, Luis Elias, Vasco Peixoto de Freitas, C. Ferreira, and Sílvia Oliveira Sequeira. "The limits of Garry Thomson's Museums Temperate Zone: Can they be enlarged?" *Climate for Collections-Standards and Uncertainties; Postprints of the Munich Climate Conference*. Munich: Jonathan Ashley-Smith; Andreas Burmester; Melanie Eibl, 2013. 59-68.
- CEN - European Committee for Standardization. *CEN/TC 346 - Conservation of Cultural Heritage*. 2017. https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:28487,411453&cs=19A92FD8F99F7BA1B5DB8EA19D64E0810 (accessed Junho 26, 2017).
- Corgnati, Stefano Paolo, Valentina Fabi, and Marco Filippi. "A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: application to a temporary exhibit." *Building and environment*, 2009: 1253-1260.
- Correia, João Tiago de Jesus Martins. *Avaliação da higroscopicidade de materiais correntes*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil - Perfil Construção, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- Direção-Geral do Património Cultural. *Património cultural*. n.d. <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/> (accessed Março 25, 2017).
- Ecoplace, Lda. *Celenit - Isolamento Natural Térmico e Acústico*. 2015. <http://www.ecoplace.pt/marcas/celenit/sobre-a-celenit> (accessed Junho 15, 2017).
- Erhardt, David, Charles S. Tumosa, and Marion F. Mecklenburg. "Applying science to the question of museum climate." *Museum Microclimates Conference*. Denmark: National Museum of Denmark, 2007.
- Ferreira, Cláudia Sofia Faia Miranda. "Inércia higroscópica em museus inatados em edifícios antigos: Utilização de técnicas passivas no controlo da humidade relativa interior." *Tese de Douturamento em Engenharia Civil*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Março 2015.

- Ferreira, Cláudia, Vasco Freitas, and Nuno Ramos. "Influence of Hygroscopic Materials in the Stabilization of Relative Humidity Inside Museum Display Cases." *Energy Procedia*, 2015: 1275-1280.
- Freitas, Vasco Manuel Araújo Peixoto de. *Transferência de humidade em paredes de edifícios - Análise do fenómeno de interface*. Tese de Doutoramento, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1992.
- Gómez-Arriaran, Iñaki, Saulo Guths, R. Souza, and J.M. Sala. "Moisture buffering performance of a new pozzolanic ceramic material: Influence of the film layer resistance." *Energy and Buildings*, 2011: 873-878.
- Hansen, Kurt Kielsgaard. *Sorption isotherms: A catalogue*. Dinamarca: Technical University of Denmark, 1986.
- Heraklith. *New surface naming*. Janeiro 17, 2013. <http://www.heraklith.com/content/new-surface-naming> (accessed Junho 15, 2017).
- . *References: All references*. 2017. <http://www.heraklith.com/case-studies> (accessed Junho 15, 2017).
- Instituto Nacional de Estatística. "Inquérito aos Museus – Documento Metodológico Versão 3.1." Departamento de Estatísticas Demográficas e Sociais; Sociedade da Informação e Conhecimento, Outubro 2009.
- . *Instituto Nacional de Estatística*. n.d. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE (accessed Fevereiro 27, 2017).
- Instituto Nacional de Estatística, I.P. *Estatísticas da Cultura 2011*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012.
- . *Estatísticas da Cultura 2012*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2013.
- . *Estatísticas da Cultura 2013*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2014.
- . *Estatísticas da Cultura 2014*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2015.
- . *Estatísticas da Cultura 2015*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2016.
- Jerónimo, Rui Miguel Sendas. *Avaliação do Desempenho Higrotérmico e do Conforto de Edifícios Rurais Reabilitados*. Tese de Doutoramento, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- Kilian, Ralf, Andreas Holm, and Jan Radon. "The King's House on the Schachen–Indoor Climate Analysis of a Cultural Heritage Building." *researchgate*. 2008. https://www.researchgate.net/profile/Ralf_Kilian/publication/237560583_The_King's_House_on_the_Schachen_-_Indoor_Climate_Analysis_of_a_Cultural_Heritage_Building/links/56b0738008ae9c1968b5ef3.pdf (accessed 05 19, 2017).
- Knauf Insulation. *Novos produtos em 2011*. Fevereiro 10, 2011. <http://www.knaufinsulation.pt/content/novos-produtos-em-2011> (accessed Junho 15, 2017).
- Kramer, R.P., H.L. Schellen, and A.W.M. van Schijndel. "Impact of ASHRAE's museum climate classes on energy consumption and indoor climate fluctuations: Full-scale measurements in museum Hermitage Amsterdam." *Energy and Buildings*, 2016: 286-294.

- Kramer, Rick, Henk Schellen, and Jos van Schijndel. "Energy Impact of ASHRAE's Museum Climate Classes: A Simulation Study on Four Museums with Different Quality of Envelopes." *Energy Procedia*, 2015: 1317-1322.
- Latif, Eshrar, Mike Lawrence, Andy Shea, and Pete Walker. "Moisture buffer potential of experimental wall assemblies incorporating formulated hemp-lime." *Building and Environment*, 2015: 199-209.
- Lusomatec. *Celenit - Isolamento Natural Térmico e Acústico*. n.d.
<http://www.lusomatec.pt/pt/produtos/celenit/sobre> (accessed Junho 15, 2017).
- Martens, Marco Hendrikus Jozef. *Climate risk assessment in museums - degradation risks determined from temperature and relative humidity data*. Tese de Douturamento, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2012.
- Melão, Daniel Branco. *Análise experimental da variação da humidade relativa em compartimentos*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização em Construções Cíveis, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- Neuhaus, Edgar, and H. L. Schellen. "Conservation Heating to Control Relative Humidity and Create Museum Indoor Conditions in a Monumental Building." *Proceedings of the 27th AIVC conference-(EPIC2006AIVC). Technologies & sustainable policies for a radical decrease of the energy consumption in buildings*. 2006.
- Neuhaus, Edgar, C. E. E. Pernot, M. A. P. van Aarle, and H. L. Schellen. "Displacement ventilation in the museum environment: a case study." *In Proceedings of the 10th Climate World Congress Sustainable Energy use in Buildings*. Antália, Turquia, Maio 2010.
- Neves, José Soares, Jorge Alves dos Santos, and Maria João Lima. *O Panorama Museológico em Portugal: os Museus e a Rede Portuguesa de Museus na Primeira Década do Século XXI*. Direção-Geral do Património Cultural, 2013.
- Nicholas, S., M. Jones, and TB Group. "NMDC guiding principles for reducing museums' carbon footprint." *Guiding principles for reducing museums' carbon footprint*. UK: UK National Museum Directors Council, 2008.
- Osanyintola, Olalekan F., and Carey J. Simonson. "Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: experimental facilities and energy impact." *Energy and Buildings*, 2006: 1270-1282.
- Pretelli, Marco, Kristian Fabbri, Andrea Ugolini, and Andreina Milan. "Indoor Microclimate effect on heritage buildings: the case study of Malatestiana Library." *Online Proceedings of Conference Built Heritage*. 2013.
- Ramos, Nuno Manuel Monteiro. "A importância da inércia higroscópica no comportamento higratérmico dos edifícios." *Tese de Douturamento em Engenharia Civil*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Junho 2007.
- researchgate.net. *ResearchGate*. 2008-2017.
https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Andrade/publication/220014226/figure/fig2/AS:394019189346313@1470952903906/Figure-2-Types-of-isotherms-described-by-Brunauer-Mathlouthi-Roge-2003-20.png (accessed Junho 5, 2017).

- Rode, Carsten, Ruut Peuhkuri, Berit Time, Kaisa Svennberg, and Tuomo Ojanen. "Moisture buffer value of building materials." *Journal of ASTM Internacional* 4, No. 5 (2007): 1-12.
- Santa Casa da Misericórdia de Lisboa. *Museu São Roque*. 2017. <http://www.museu-saoroque.com/pt/home.aspx> (accessed Maio 16, 2017).
- Schellen, Henk, and Marco Martens. "A sound indoor climate for a museum in a monumental building." *Symposium Building Physics in honour of Prof. Hugo Hens*. Leuven: Technische Universiteit Eindhoven, Outubro 2008.
- Silva, Hugo Entradas, and Fernando M. A. Henriques. "Microclimatic analysis of historic buildings: A new methodology for temperate climates." *Building and Environment*, 2014: 381-387.
- Silva, Hugo Entradas, and Fernando MA Henriques. "Hygrothermal analysis of historic buildings: Statistical methodologies and their applicability in temperate climates." *Structural Survey*, 2016: 12-23.
- Silva, Hugo Entradas, and Fernando MA Henriques. "Preventive conservation of historic buildings in temperate climates. The importance of a risk-based analysis on the decision-making process." *Energy and Buildings*, 2015: 26-36.
- Silva, Hugo Entradas, Fernando M. A. Henriques, Telma A. S. Henriques, and Guilherme Coelho. "A sequential process to assess and optimize the indoor climate in museums." Lisboa: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2016.
- Sulaiman, Raha, Henk L. Schellen, and Jan LM Hensen. "Pilot study on indoor climate investigation and computer simulation in historical museum building: Amerongen Castle, the Netherlands." *Journal of Design and the Built Environment*, 2010: 75-94.
- Technische Universiteit Eindhoven. *Clever Climate Control for Culture: Energy conservation in museums by optimizing climate control while preserving collection, building and thermal comfort*. 2012-2016. <https://www.tue.nl/en/education/tue-graduate-school/graduate-programs/graduate-program-built-environment/phd-program-built-environment/research-groups/building-physics-and-services/research/phd-and-postdoc-projects/building-physics/clever-climate-control-> (accessed Fevereiro 7, 2017).
- Woods, J., J. Winkler, and D. Christensen. "Evaluation of the effective moisture penetration depth model for estimating moisture buffering in buildings." *NREL - National Renewable Energy Laboratory*. Janeiro 2013. <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/57441.pdf> (accessed Junho 13, 2017).
- Yasa, Enes, Guven Fidan, and Mustafa Tosun. "Analysis of Historic Buildings in Terms of their Microclimatic and Thermal Comfort Performances "Example of Konya Slender Minaret Madrasah". *Architectural Engineering Technology*, 2014.

A1

CONFIGURAÇÃO I – CICLO DE INVERNO

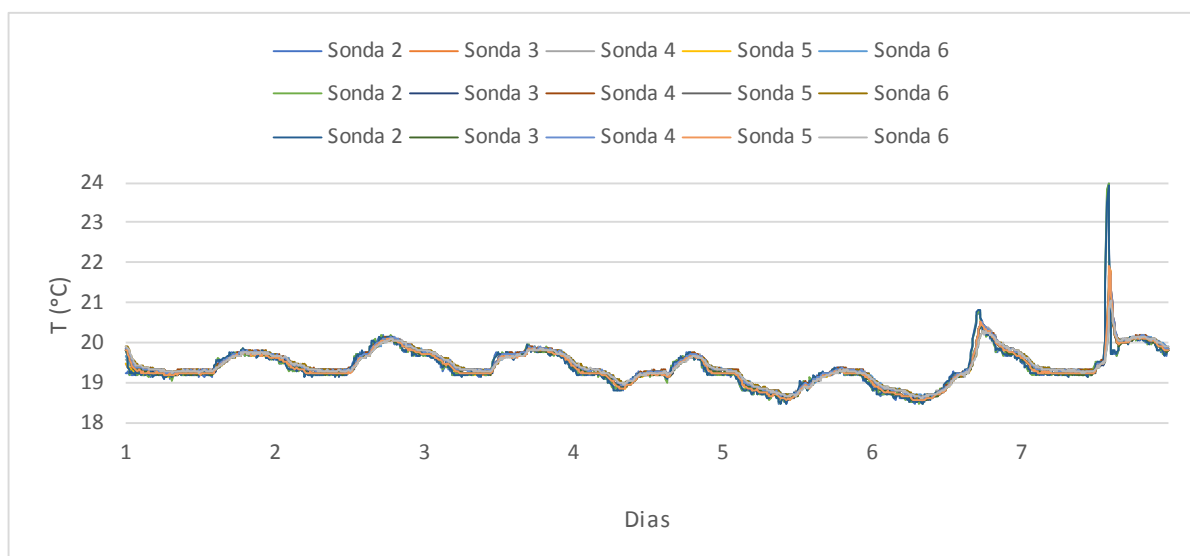


Fig. 1.1 – Variação da temperatura das 3 repetições do ciclo de inverno da configuração I (Valores das sondas 2 a 6)

Tabela 1.1 – Parâmetros estatísticos da temperatura relativa a cada uma das repetições do ciclo de inverno da configuração I

Temperatura (°C)						
	1ª Repetição		2ª Repetição		3ª Repetição	
	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)
Mínimo	18,5	18,6	18,5	18,6	18,5	18,6
Média	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4
Máximo	23,9	21,6	23,9	21,6	23,9	21,6
Δ=máx-mín	5,5	3,0	5,5	3,0	5,5	3,0
Desvio padrão	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4

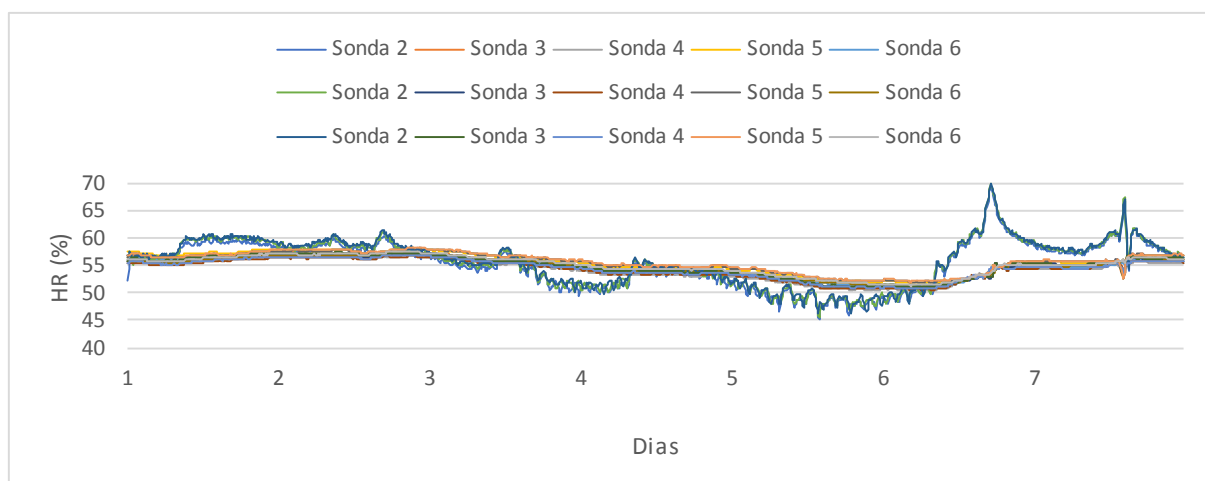


Fig. 1.2 – Variação da humidade relativa das 3 repetições do ciclo de inverno da configuração I (Valores das sondas 2 a 6)

Tabela 1.2 - Parâmetros estatísticos da humidade relativa de cada uma das repetições do ciclo de inverno da configuração I

	Humidade relativa (%)					
	1ª Repetição		2ª Repetição		3ª Repetição	
	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)
Mínimo	46	51	46	51	46	51
Média	56	55	56	55	56	55
Máximo	70	57	70	57	70	57
Δ=máx-mín	24	7	24	6	24	6
Desvio padrão	4	2	4	2	4	2

A2

CONFIGURAÇÃO I – CICLO DE VERÃO

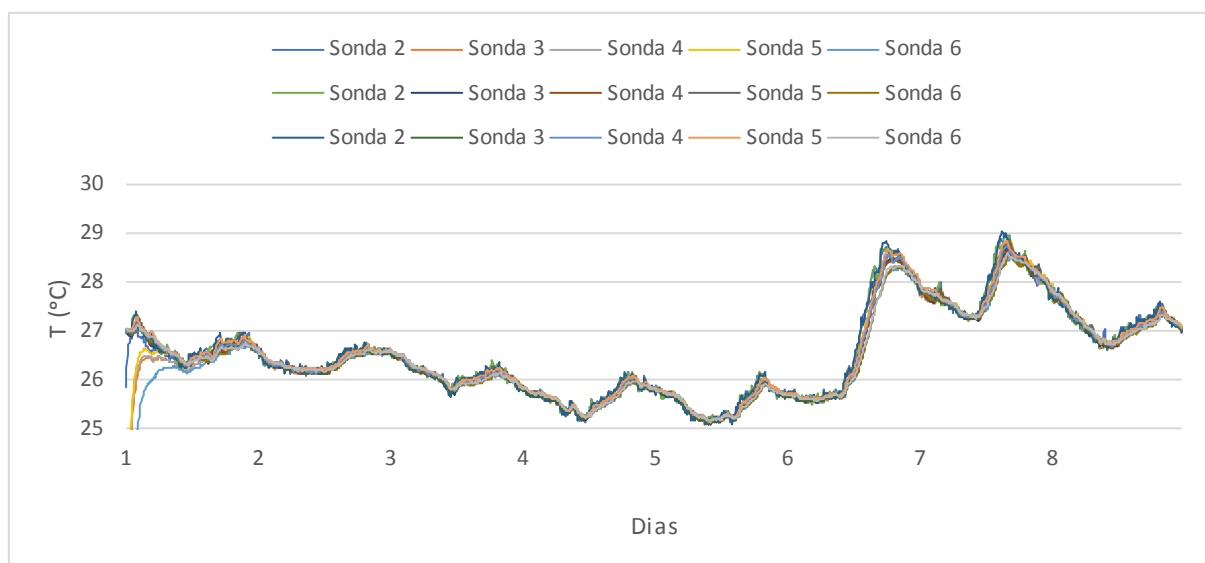


Fig. 2.1 – Variação da temperatura das 3 repetições do ciclo de verão da configuração I (Valores das sondas 2 a 6)

Tabela 2.1 - Parâmetros estatísticos da temperatura relativa a cada uma das repetições do ciclo de verão da configuração I

Temperatura (°C)						
	1ª Repetição		2ª Repetição		3ª Repetição	
	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)
Mínimo	25,1	20,2	25,1	25,1	25,1	25,1
Média	26,5	26,4	26,5	26,5	26,5	26,5
Máximo	29,0	28,7	29,0	28,7	29,0	28,7
Δ=máx-mín	3,9	8,5	3,9	3,6	4,0	3,6
Desvio padrão	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

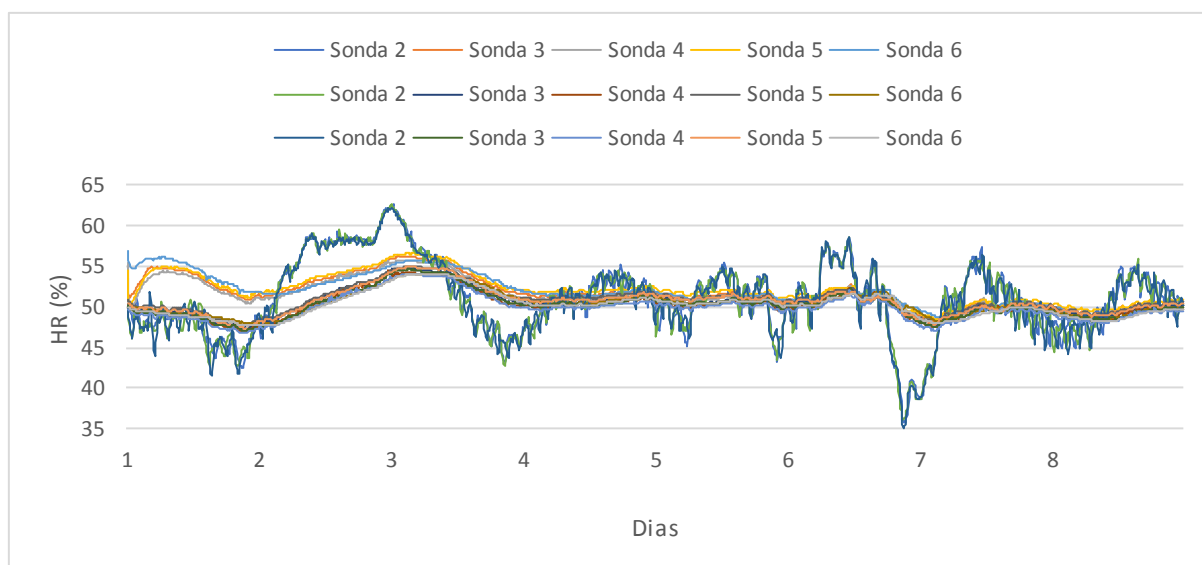


Fig. 2.2 - Variação da humidade relativa das 3 repetições do ciclo de verão da configuração I (Valores das sondas 2 a 6)

Tabela 2.2 - Parâmetros estatísticos da humidade relativa de cada uma das repetições do ciclo de verão da configuração I

Humidade relativa (%)						
	1ª Repetição		2ª Repetição		3ª Repetição	
	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)
Mínimo	36	48	36	48	35	47
Média	51	52	51	51	51	50
Máximo	63	56	63	55	62	54
Δ=máx-mín	27	8	27	7	27	7
Desvio padrão	5	2	5	2	5	2

A3

CONFIGURAÇÃO II – CICLO DE INVERNO

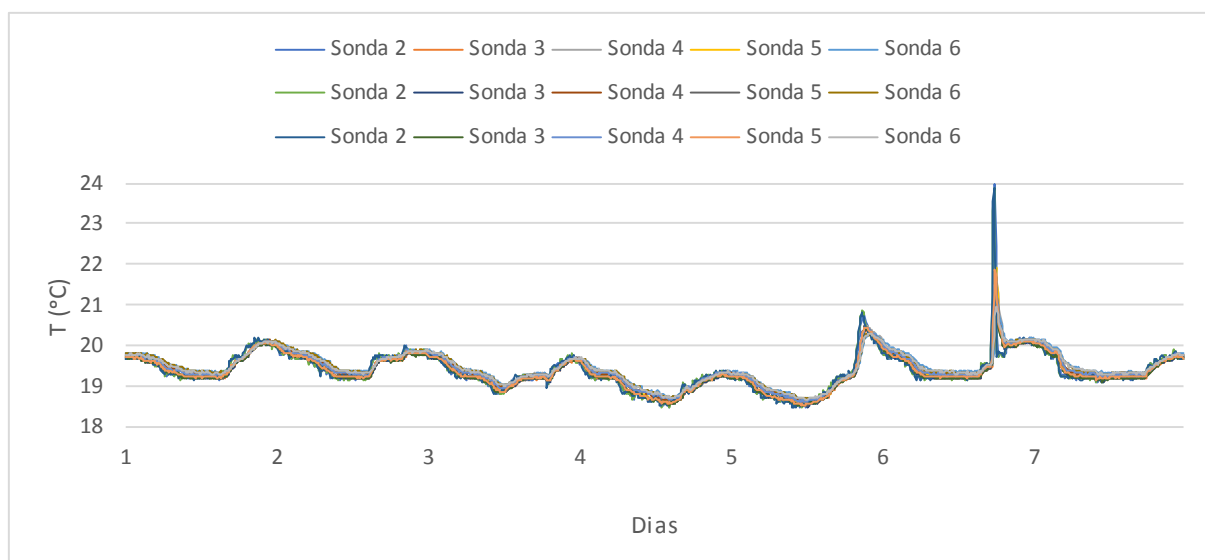


Fig. 3.1 - Variação da temperatura das 3 repetições do ciclo de inverno da configuração II (Valores das sondas 2 a 6)

Tabela 3.1 - Parâmetros estatísticos da temperatura relativa a cada uma das repetições do ciclo de inverno da configuração II

Temperatura (°C)						
	1ª Repetição		2ª Repetição		3ª Repetição	
	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)
Mínimo	18,5	18,6	18,5	18,6	18,5	18,6
Média	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4
Máximo	24,0	21,4	23,9	21,4	23,9	21,4
Δ=máx-mín	5,5	2,8	5,4	2,8	5,5	2,8
Desvio padrão	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4

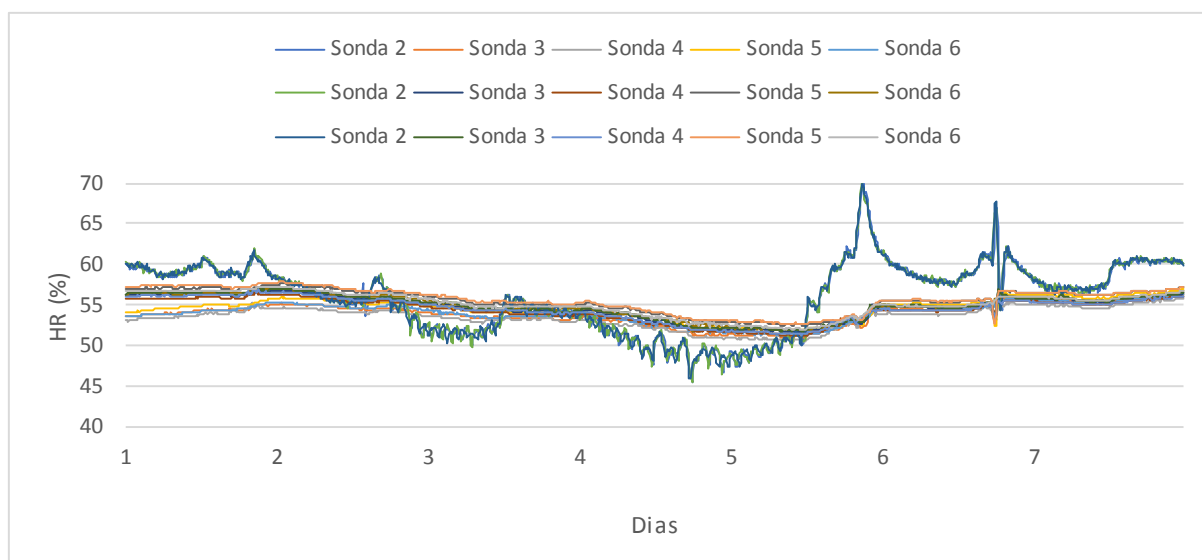


Fig. 3.2 - Variação da humidade relativa das 3 repetições do ciclo de inverno da configuração II (Valores das sondas 2 a 6)

Tabela 3.2 - Parâmetros estatísticos da humidade relativa de cada uma das repetições do ciclo de inverno da configuração II

Humidade relativa (%)						
	1ª Repetição		2ª Repetição		3ª Repetição	
	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)
Mínimo	46	51	46	52	46	52
Média	56	54	56	55	56	55
Máximo	70	56	70	57	70	57
Δ=máx-mín	25	5	25	5	24	5
Desvio padrão	4	1	4	1	4	2

A4

CONFIGURAÇÃO II – CICLO DE VERÃO

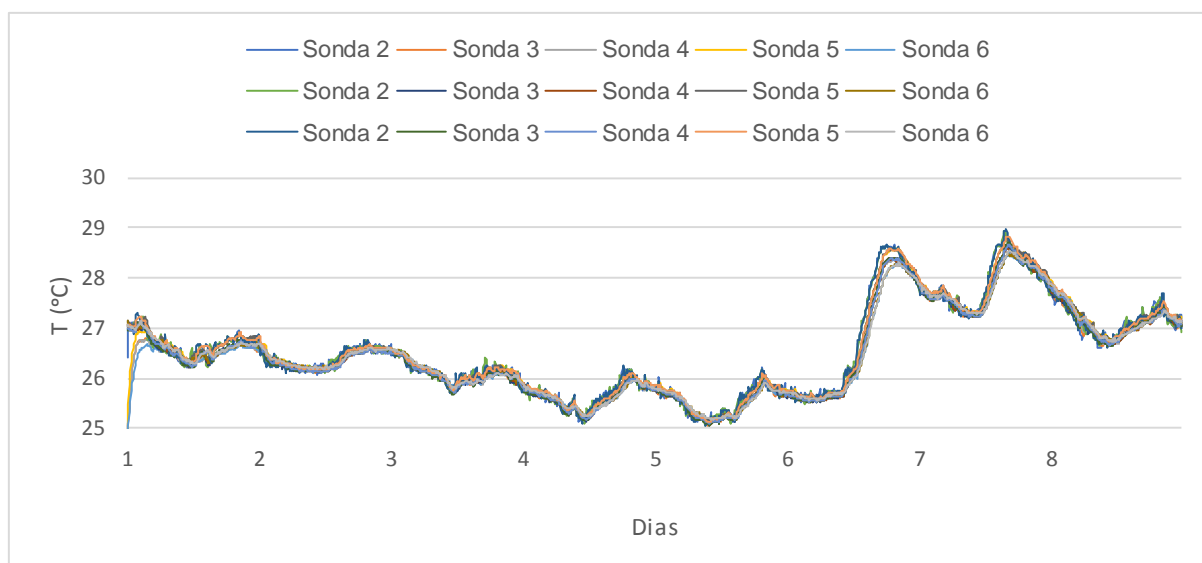


Fig. 4.1 - Variação da temperatura das 3 repetições do ciclo de verão da configuração II (Valores das sondas 2 a 6)

Tabela 4.1 - Parâmetros estatísticos da temperatura relativa a cada uma das repetições do ciclo de verão da configuração II

Temperatura (°C)						
	1ª Repetição		2ª Repetição		3ª Repetição	
	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)
Mínimo	25,0	24,8	25,0	25,1	25,0	25,1
Média	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
Máximo	28,9	28,6	28,9	28,6	29,0	28,7
Δ=máx-mín	3,9	3,8	3,9	3,5	3,9	3,6
Desvio padrão	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

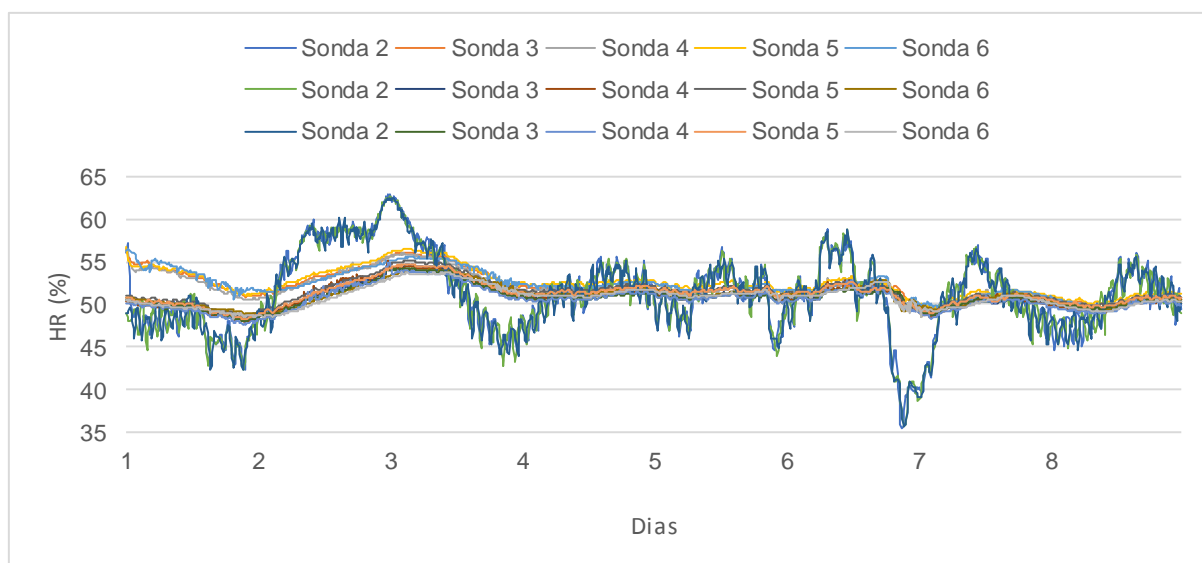


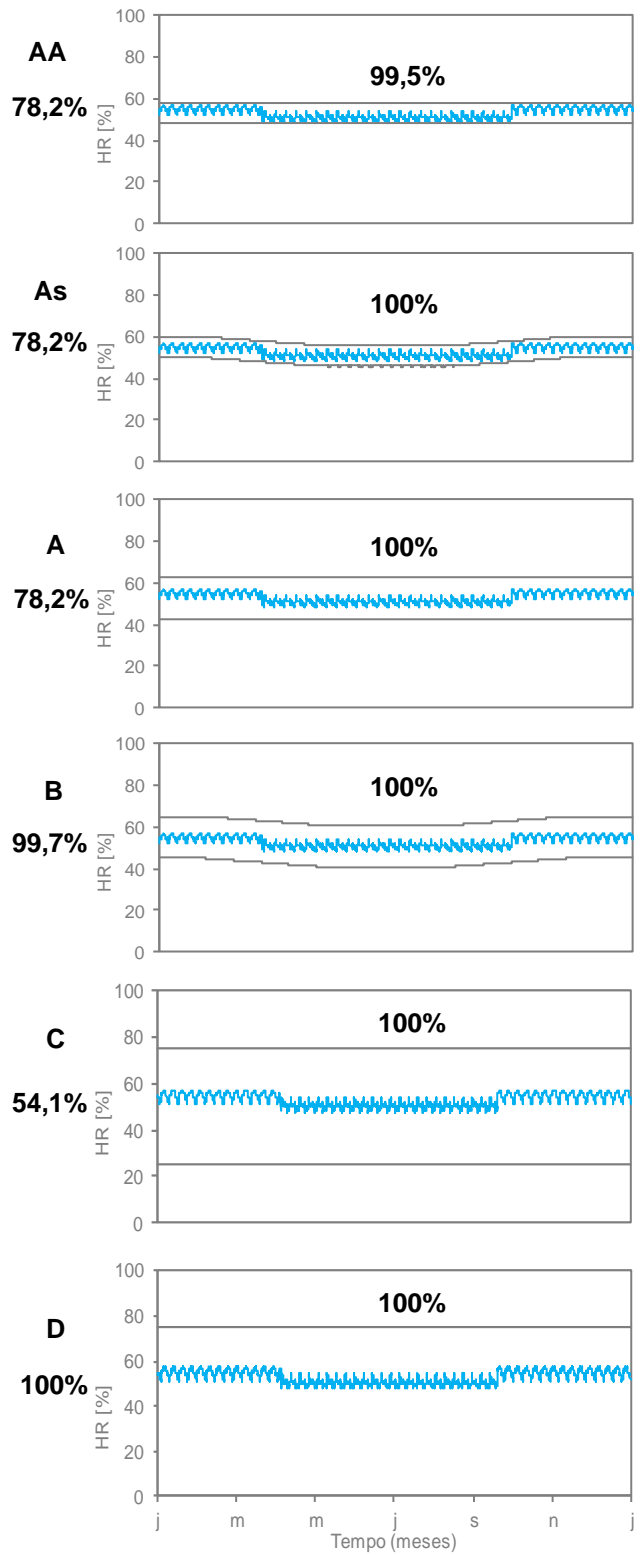
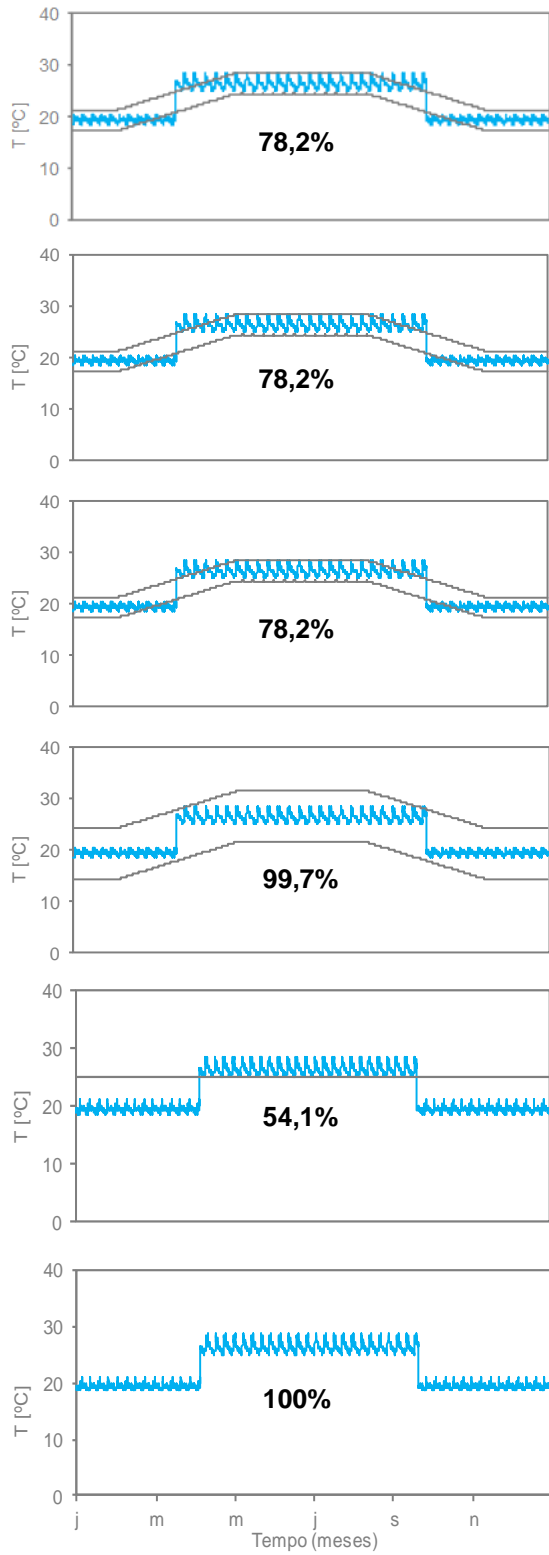
Fig. 4.2 - Variação da humidade relativa das 3 repetições do ciclo de verão da configuração II (Valores das sondas 2 a 6)

Tabela 4.2 - Parâmetros estatísticos da humidade relativa de cada uma das repetições do ciclo de verão da configuração II

Humidade relativa (%)						
	1ª Repetição		2ª Repetição		3ª Repetição	
	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)	S2	Média (S3, S4, S5 e S6)
Mínimo	35	49	36	48	36	48
Média	51	52	51	51	51	51
Máximo	63	56	63	55	62	54
Δ=máx-mín	28	7	27	6	27	6
Desvio padrão	5	2	5	1	5	1

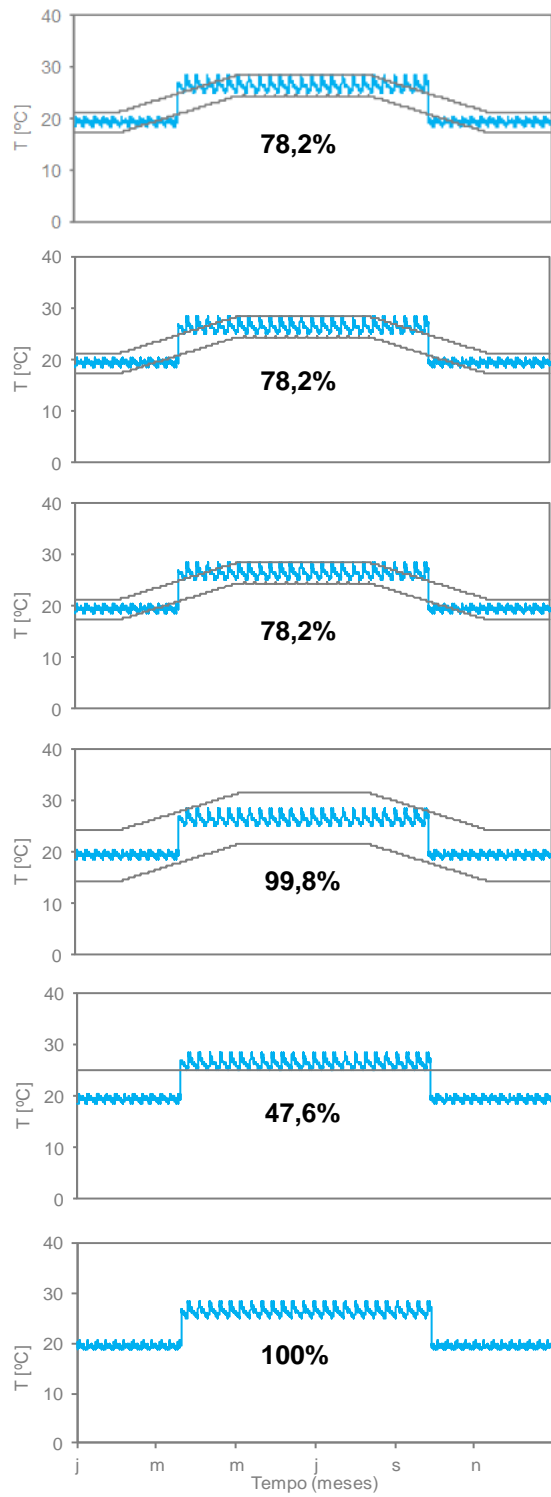
A5

APLICAÇÃO METODOLOGIA ASHRAE – CONFIGURAÇÃO I

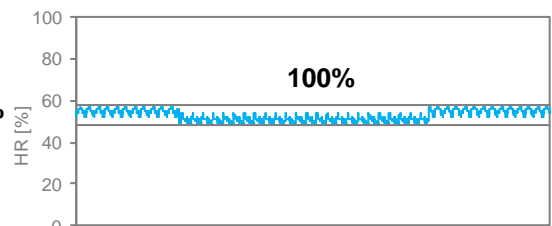


A6

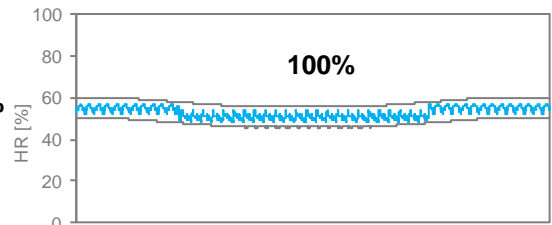
APLICAÇÃO METODOLOGIA ASHRAE – CONFIGURAÇÃO II



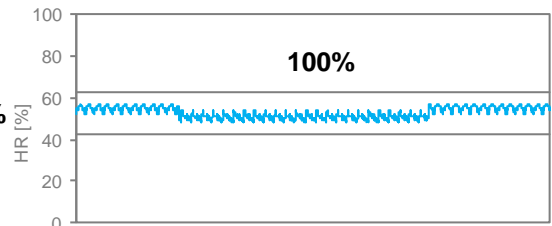
AA
78,2%



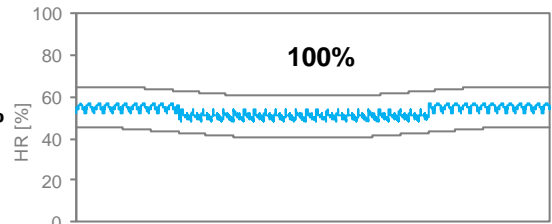
As
78,2%



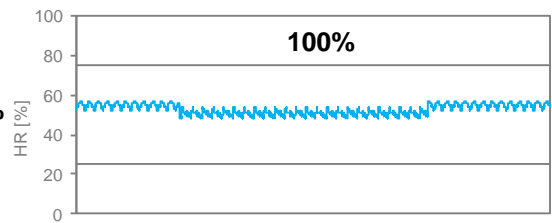
A
78,2%



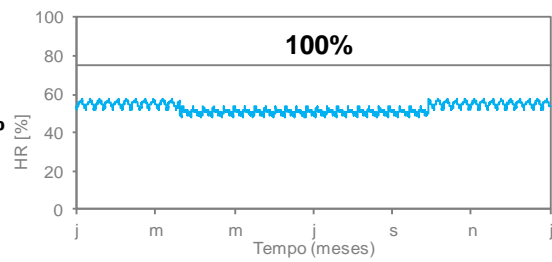
B
99,8%



C
47,6%



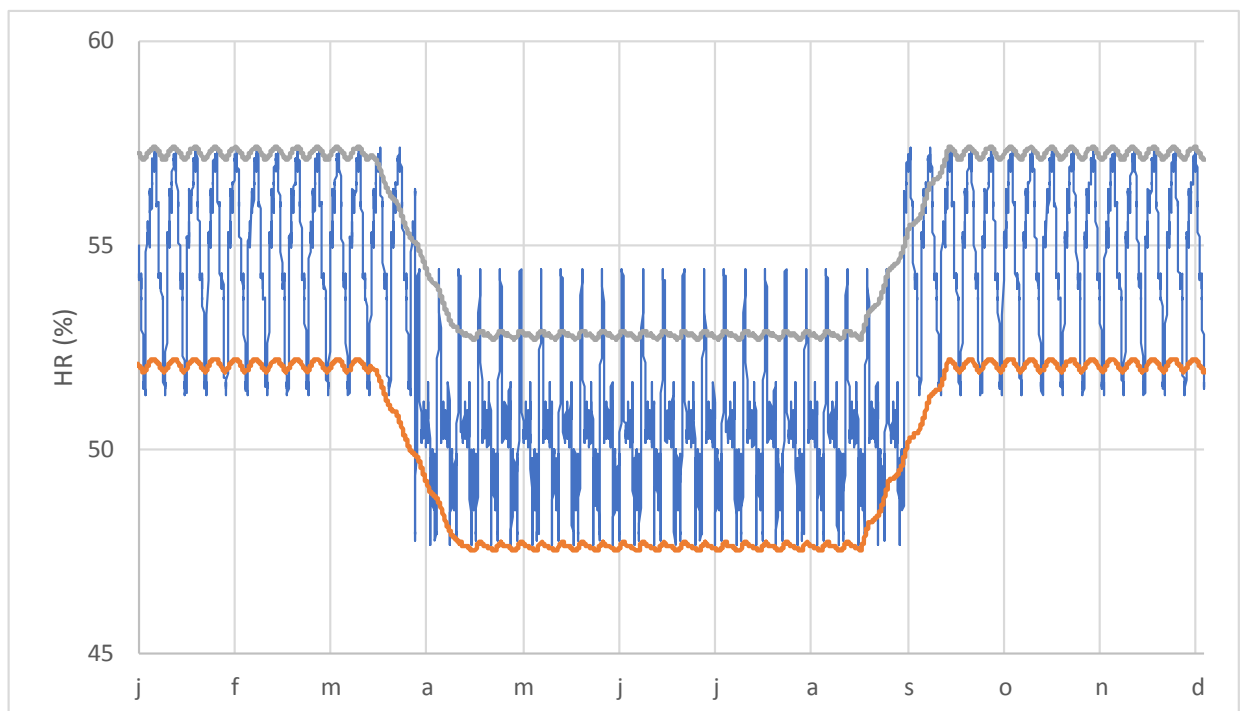
D
100%



A7

APLICAÇÃO METODOLOGIA EN15757 – CONFIGURAÇÃO I E CONFIGURAÇÃO II

Configuração I:



Configuração II:

